Machine Translated by Google

4-bob
Yarimo'tkazgichlarda ortiqcha tashuvchilar

Xulosa Ko'pgina yarimo'tkazgichli qurilmalar issiqlik muvozanatida mavjud bo'lgan zaryad tashuvchilardan ortiq bo'lgan zaryad tashuvchilarni yaratish orqali ishlaydi. Yarimo'tkazgichlarda o'tkazuvchanlikda bu ortiqcha tashuvchilar ustunlik qiladi. Shuning uchun ushbu bobda optik yutilish va uning mexanizmi, yutilish koeffitsienti va unga ta'sir qiluvchi omillar tushuntiriladi. Luminesans, fosforessensiya, elektrolyuminessensiya, qo'zg'alish va rekombinatsiya mexanizmi ko'rib chiqiladi. Tashuvchining ishlash muddati va uning kelib chiqishi, bilvosita rekombinatsiya, tashuvchining barqaror holati va kvazi-Fermi darajalari tasvirlangan. Fotoo'tkazuvchanlik va fotoo'tkazgich qurilmalari, foto o'tkazuvchanlik elementi, fotoko'paytiruvchi trubka va foto o'tkazuvchanlik uchun yarim o'tkazgichlarni tanlashga ta'sir qiluvchi omillar tushuntiriladi. Tashuvchilarning diffuziyasi haqida tushunchalar, drift va diffuziya tashuvchilarning tahlili, Eynshteyn munosabati, diffuziya va rekombinatsiya uchun uzluksizlik tenglamasi keltirilgan. Diffuziya va diffuziya uzunligi uchun tenglamalar olingan. Eritma xatolik funktsiyasi usuli va Gauss taqsimlash usuli bo'yicha zaryadni tashish va nopoklikni taqsimlash uchun taqdim etilgan. Uzoq diod va qisqa diod ham muhokama qilinadi. Yechimlar orqali kvant samaradorligi, tutqich markazi, fotoo'tkazgichning qorong'i qarshiligi va ulanish kuchlanishining kelib chiqishi va boshqalar haqida qisqacha ma'lumot beriladi. Yechilgan raqamli va nazariy misollar orqali turli mavzular bo'yicha qisqacha tushuncha beriladi. Takrorlash savollari, sonli masalalar va ob'ektiv tipdagi savollar ham ularning javoblari bilan berilgan.

Kalit so'zlar Optik yutilish Luminesans Fotoo'tkazuvchanlik Tashuvchilarning diffuziyasi Eynshteyn munosabati Uzluksizlik tenglamasi Xato funksiya usuli Gauss taqsimoti Uzoq diod Qisqa diod

4.1 Kirish

Ko'pgina yarimo'tkazgichli qurilmalar issiqlik muvozanatida mavjud bo'lgan zaryad tashuvchilardan ortiq bo'lgan zaryad tashuvchilarni yaratish orqali ishlaydi. Yarimo'tkazgichli materiallardagi o'tkazuvchanlik jarayonlarida bu ortiqcha tashuvchilar ustunlik qiladi. Ortiqcha zaryad tashuvchilar turli xil vositalar yordamida yaratiladi, masalan

© Springer International Publishing Shveytsariya 2016
KM Gupta va N. Gupta, Advanced Semiconducting Materials and Devices, Engineering Materials, DOI 10.1007/978-3-319-19758-6_4

Machine Translated by Google

• Optik qo'zg'alish •
Elektron bombardimon qilish •
Oldinga yo'naltirilgan pn-tushish bo'ylab in'ektsiya

Optik qo'zg'alishda, elektromagnit nurlanishlar / yorug'lik materialning yuzasi bilan o'zaro ta'sirlashganda diskret energiya paketlari chiqariladi. Ushbu paketlar "kvantlar" yoki "fotonlar" deb ataladi. Fotonlar so'rilganda, quyi energiya holatlaridagi elektronlar yuqori energiya holatiga qo'zg'aladi.

Fotonlar har qanday nurlanishning asosiy tarkibiy qismidir. kabi xususiyatlarga ega energiya Efoton, massa m va impuls p. Bu miqdorlar quyidagicha ifodalanadi

$$E ¼ hf; \quad m ¼ \frac{E}{c2}; \quad va\ p ¼ mc ¼ \frac{hf}{c}$$

Ushbu bobda biz asosan fotonlar va ular bilan bog'liq hodisalarni o'rganamiz.

4.2 Optik yutilish

Optik yutilish deganda biz fotonlarning materiallar tomonidan yutilishini tushunamiz. Ushbu mavzu doirasida material yarim o'tkazgichlarni anglatadi. Demak, bu bobda biz yarimo'tkazgichlar tomonidan fotonlarning yutilishi sifatida optik yutilishni tushunamiz. Ushbu hodisaning muhim qo'llanilishi yilda amalga oshiriladi

• tarmoqli bo'shlig'ining energiyasini o'lchash.

Yarimo'tkazgichlarning tarmoqli bo'shlig'i energiyasini o'lchash ko'pincha yarimo'tkazgich qurilmalarini tahlil qilish va to'g'ri loyihalash uchun talab qilinadi. Odatda bu hodisa fotonlarni material tomonidan yutilishini o'z ichiga olgan texnika bilan amalga oshiriladi.

Yarimo'tkazgichga tushgan barcha fotonlar so'rilmaydi. Ulardan ba'zilari so'rilsa, qolganlari uzatiladi. Yutish yoki uzatish quyidagi shartga bog'liq.

1. Agar EPhoton ÿ Masalan, fotonlar yutiladi va 2.
EPhoton < Masalan , fotonlar uzatiladi .

Bu erda Efoton = hf fotonning energiyasi, bu erda h - Plank doimiysi va f - nurlanish chastotasi. Tarmoq bo'shlig'i energiyasidan kattaroq energiyalarda yutilish quyida keltirilgan fakt bilan bog'liq.

Valentlik zonasida bir nechta elektronlar mavjud bo'lsa-da, o'tkazuvchanlik zonasi ko'plab bo'sh holatlarga ega. Shuning uchun elektronlar valentlik zonasidan osongina qo'zg'alishi mumkin va shuning uchun fotonni yutish ehtimoli katta. Biroq, energiya Eg dan kam bo'lgan foton elektronlarni valentlik zonasidan o'tkazuvchanlik zonasiga qo'zg'atolmaydi. Shuning uchun Si va Ge kabi sof (ichki) yarimo'tkazgichlarda fotonlarning yutilishi ahamiyatsiz.

Machine Translated by Google

4.2.1 Mexanizm

Fotonning optik yutilishi 4.1-rasmda ko'rsatilgan. Bu shuni ko'rsatadiki, valentlik zonasidagi A joydan o'tkazuvchanlik zonasining B joyiga optik yutilish orqali qo'zg'atilgan elektron Ec dan ko'proq energiyaga ega bo'lishi mumkin.

Qo'zg'algan elektron A da teshik qoldiradi. Agar yarimo'tkazgich namunasi kuchli doping bo'lmasa, deyarli barcha elektronlar Ec ga teng yoki unga yaqin energiyaga ega bo'lishi odatiy haqiqatdir . Shuning uchun tarqalish holatida qo'zg'atilgan elektron uning tezligi issiqlik muvozanatidagi boshqa o'tkazuvchanlik zonasi elektronlarining tezligiga yetguncha, panjara uchun energiyasini yo'qotadi. Yuqoridagi yutilish jarayoni natijasida hosil bo'lgan elektron va teshik "ortiqcha tashuvchilar" deb ataladi. Ushbu tashuvchilar o'zlarining tegishli bantlarida mavjud bo'lsa-da, lekin ular yarimo'tkazgichning o'tkazuvchanligiga erkin hissa qo'shadilar.

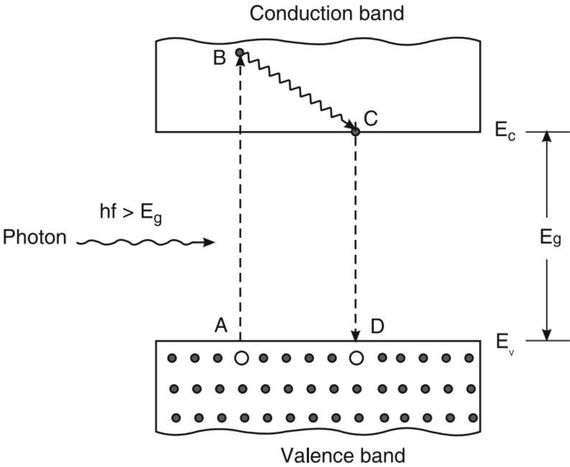
4.1- rasmda ko'rsatilgan fotonning optik yutilish hodisasini quyidagicha tasvirlash mumkin.

(i) AB bosqichi elektron-teshik juftligini yaratishni ko'rsatadi. (ii)
Miloddan avvalgi qadam qo'zg'atilgan elektronning energiyaning panjaraga berilishini ko'rsatadi
tarqalish.
(iii) CD-bosqich valentlik zonasidagi teshik bilan elektronning rekombinatsiyasini ko'rsatadi.

4.2.2 Yutish koeffitsienti

Yarimo'tkazgichga fotonlar nuri tushganda; uning bir qismi aks ettiriladi, bir qismi uzatiladi va qolgan qismi so'riladi. Shuning uchun ma'lum bir to'lqin uzunligi uchun; agar yutilgan, aks ettirilgan va uzatilgan kasrlar mos ravishda aA, aR va aT bilan ifodalangan bo'lsa ; keyin bizda bor

aA þ aR þ aT ¼ 1 ð4:1Þ



4.1-rasm Optik yutilish mexanizmining tasviri

Machine Translated by Google

So'rilgan yorug'likning ulushi fotonning to'lqin uzunligiga bog'liq va u tushadigan namuna qalinligi.

Yutish qobiliyatini aniqlash uchun biz intensivlikdagi foton nurini qabul qilamiz Qalinligi t bo'lgan namunaga to'g'ri keladigan I0 (foton/sm2 -s) va to'lqin uzunligi l. Bu intensivlik uning qalinligi bo'ylab x masofa ortishi bilan kamayadi 4.2 -rasm . Intensivlikning pasayishi qolganlarga proportsional bo'lgani uchun $\frac{dI}{dx}$ x masofadagi intensivlik, shuning uchun biz yozishimiz mumkin

$$\frac{dI}{dx} / \text{Men} \qquad ð4:2aÞ$$

yoki

$$\frac{dI}{dx} ¼ aI \qquad ð4:2bÞ$$

Bu erda a - mutanosiblik doimiysi va yutilish koeffitsienti deb nomlanadi.

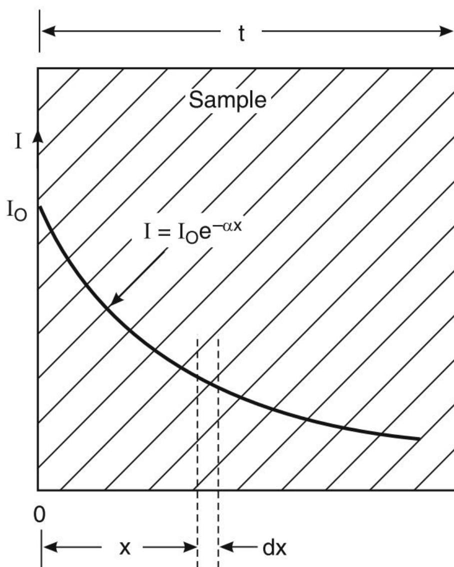
Ushbu birinchi tartibli differensial tenglamaning yechimini quyidagicha olish mumkin

$$I ¼ I0eax \qquad ð4:3Þ$$

U 4.2-rasmda ko'rsatilgandek eksponensial pasayishni tasvirlaydi . Uning birligi smÿ1 . Bu eritma orqali o'tadigan yorug'likning intensivligini hisoblash uchun foydalanish mumkin qalinligi namunasi t. tomonidan beriladi

$$Bu ¼ I0eax \qquad ð4:4Þ$$

4.2-rasmda pasayish bo'ylab fotonning intensivligi namunaning qalinligi singdirish uchun



Machine Translated by Google

4.2.3 Yutish koeffitsientiga ta'sir etuvchi omillar

Yutish koeffitsienti asosan quyidagi ikki omilga bog'liq.

1. Foton to'lqin uzunligi l, va 2.
Yarim o'tkazgich materialning turi.

To'lqin uzunligining optik yutilishga ta'siri 4.3-rasmda ko'rsatilgan. U uzoqroq to'lqin uzunliklari (ya'ni kichikroq hf) uchun juda kam yutilishni va kichikroq to'lqin uzunliklari uchun (ya'ni katta hf) sezilarli yutilishni ko'rsatadi. Foton energiyasi Efonton va to'lqin uzunligi Efoton = hc/l kabi bog'langanligi sababli , bu erda c - yorug'lik tezligi; shuning uchun h = 6,626 × 10ÿ34 Js va c = 2,998 × 108 m/s ni almashtirsak , biz hosil bo'lamiz.

$$\text{Efoton} ¼ \frac{hc}{k} ¼ \frac{1:24}{k} \text{eV} \qquad ð4:5Þ$$

unda l mkm da bo'ladi.

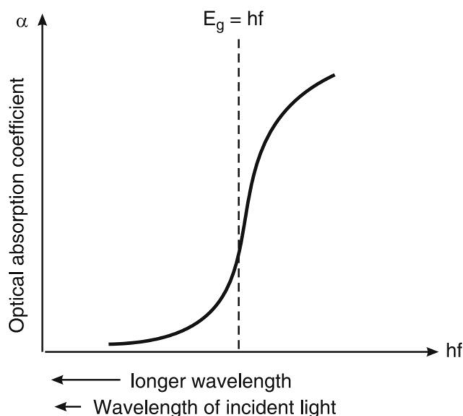
Yarimo'tkazgich turining ta'siri 4.4-rasmda ko'rsatilgan. U turli tarmoqli bo'shliq energiyalari uchun yorug'lik spektrini tasvirlaydi, masalan. Uning asosiy kuzatuvlari quyidagicha keltirilgan.

(i) infraqizil mintaqada joylashgan yarimo'tkazgichlar

• InSb •
Ge •
Si •
GaAs

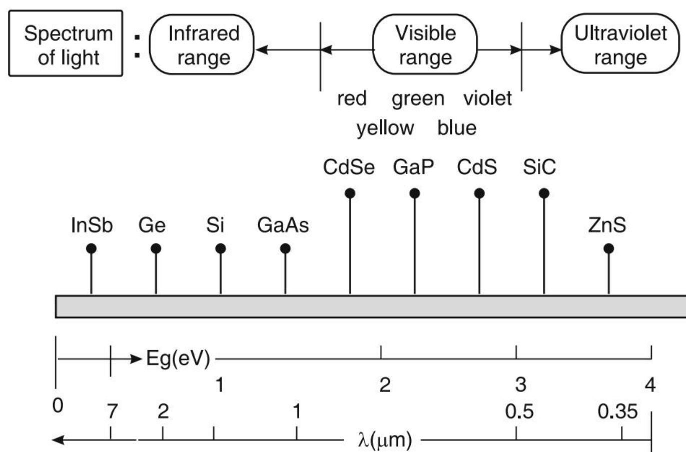
(ii) Ko'rinadigan hududda joylashgan yarimo'tkazgichlar

• CdSe (qizil ko'rinishda) • GaP
(sariq ko'rinishda) • CdS (yashil
ko'rinishda) • SiC (ko'k ko'rinishda)



4.3-rasm Yarimo'tkazgich uchun optik yutilish koeffitsientining a bog'liqligi.
tushayotgan yorug'lik to'lqin uzunligi funktsiyasi

Machine Translated by Google



4.4-rasm Yorug'lik spektrining turli ko'rinish diapazonidagi ba'zi yarim o'tkazgichlar

(iii) ultrabinafsha mintaqada joylashgan yarimo'tkazgichlar

- ZnS

Eg va l qiymatlari masshtabga mos kelmaydi

4.1-misol To'lqin uzunligiga ega bo'lgan natriy yorug'lik fotonining energiyasini hisoblang 5,893 × 10ÿ7 m (a) joulda va (b) elektron-voltda. h = 6,62 × 10ÿ34 Js va ni oling yorug'lik tezligi c = 3 × 108 m / s.

Yechim. Berilgan: l = 5,893 × 10ÿ7 m

ðaÞ $* E_{foton} ¼ hf ¼ \frac{hc}{k}$

$) ¼ \frac{6:62\ 1034\ ð Þ \quad 3\ 108\ ð Þ}{5:893\ 107\ ¼}$ J

3:375 1019 J

ðbÞ * 1 eV ¼ 1:6 1019 J

$) foton ¼ \frac{3:375\ 1019}{1:6\ 1019}$ ¼ 2:11 eV

4.2-misol Qalinligi 0,45 mkm bo'lgan GaAs namunasi monoxromatik nur bilan yoritilgan. foton energiyasining yorug'ligi 3 eV. Namunadagi hodisa quvvati 15 mVt. Agar Yutish koeffitsienti 50 000/sm ni tashkil qiladi, (a) so'rilgan umumiy energiyani aniqlang. soniyada namuna, elektronlar tomonidan berilgan ortiqcha issiqlik energiyasining tezligi

Machine Translated by Google

rekombinatsiyadan oldingi panjara va (c) rekombinatsiyadan chiqarilgan fotonlar soni. Mukammal kvant samaradorligini qabul qiling. Chiqvuvchi nurlanish 2,35 eV ni tashkil qiladi.

Yechim. Berilgan:

t ¼ 0:45 lm ¼ 0:45 106 m ¼ 0:45 104 sm

Efoton ¼ 3 eV; a ¼ 50; 000=sm ¼ 5 104 sm1 ;

I0 ¼ 15 mVt ¼ 15 103 Vt

(a) tenglamadan foydalanish. 4.4, biz yozamiz

Bu ¼ I0eat ¼ 15 103 :eð5104

0:45104Þ ¼ 0:015 0:105 ¼ 1:575 103 Vt

¼ 1:575 mVt

Shunday qilib, so'rilgan umumiy quvvat

So‘rilgan ¼ I0It ¼ 151:575

¼ 13:425 mVt ¼ 13:425 103 J=s

(b) Haddan tashqari issiqlik tezligi 0 tomonidan berilgan energiya elektronlar panjaraga rekombinatsiyadan oldin 1 CCCCCA ¼ 0 Miqdori energiyaga aylantiriladi soniyada isitish uchun 1 CCA

Har bir foton energiya birligining issiqlikka aylanadigan ulushi sifatida

hf1 hf2 / hf1 ¼ 3 2:35 / 3 ¼ 0:216

ÿ Bir soniyada issiqlikka aylangan energiyaning umumiy miqdori

¼ 0:216 ð13:425 103 Þ ¼

2:899 103 J=s

(c) Kvant samaradorligi mukammal bo'lganligi sababli, har bir so'rilgan foton uchun bitta (ya'ni bitta) chiqarilgan foton mavjud. Demak, rekombinatsiyadan sekundiga chiqadigan fotonlar soni

nfoton ¼ So‘rilgan / va efoton ¼ 13:425 103J/s / 1:6 1019 J eV 3eV foton

¼ 8:39 1016foton/s

Machine Translated by Google

4.2.4 Materialning yorug'likni yutish qobiliyati

Materialning yorug'likni yutish qobiliyati uning tarkibidagi zaryadlarning turiga bog'liq. Yutish yorug'likning elektromagnit nurlanishi va materialdagi zaryadlarning o'zaro ta'siri tufayli sodir bo'ladi. Umuman olganda, materiallarda zaryad taqsimotining quyidagi uch turi mavjud.

(i) mahkam bog'langan zaryadlar, masalan, panjara ionlarining ichki qobiq elektronlari yoki panjara ionlarining o'zi.
(ii) bo'shashmasdan bog'langan zaryadlar, masalan, panjara ionlarining tashqi qobiq elektronlari.
(iii) metallar va yarim o'tkazgichlarda o'tkazuvchanlik elektronlari kabi erkin zaryadlar.

Qattiq bog'langan zaryadlar optik dispersiya hodisasini ta'minlaydi. Bunday materiallarda yorug'likning rezonans chastotasiga yaqin qo'zg'alishi aniq yutilishga olib keladi. Ikkalasining mavjudligi: bog'langan elektronlar va ionlar, shuning uchun spektrning UV va infraqizil hududlarida yutilishga olib keladi.

Bo'shashmasdan bog'langan zaryadlarni elektronlarning tarmoqli nazariyasi bilan eng yaxshi tasvirlash mumkin. Bunday zaryadlarning yutilishi diapazonlararo qo'zg'alishdan kelib chiqishi mumkin. Yutish faqat foton energiyasi tarmoqli bo'shliq energiyasidan ko'p bo'lsa sodir bo'ladi.

Erkin elektron materiallar juda qutblanish qobiliyatiga ega va tushgan elektromagnit to'lqin bilan osongina o'zaro ta'sir qiladi. Ular panjara tuzilishidan mustaqil ravishda harakat qilmaydi, lekin ularning harakati davomida foton bilan o'zaro ta'sir qilishi mumkin. Zaryad yorug'likni qayta tarqatishdan oldin energiya yo'qolishi mumkin va shuning uchun yutilish sodir bo'ladi. Bunday materiallarda yutilish elektronlar soni bilan ortadi va yutilish koeffitsienti ham to'lqin uzunligi kvadratiga mutanosib ravishda o'zgaradi.

4.3 Luminesans

Luminesans - bu materialning yorug'lik chiqaradigan xususiyati. Yarimo'tkazgichlarda yorug'lik quyida keltirilgan ma'lum sharoitlarda chiqariladi.

(i) elektron teshik juftlari (EHP) hosil bo'lganda yoki (ii) tashuvchilar yuqori ifloslik darajasiga qo'zg'alishdan keyin muvozanat holatiga tushganda.

Bir nechta yarim o'tkazgichlar luminesans xususiyatini namoyish etadi, xususan, to'g'ridan-to'g'ri tarmoqli bo'shliqlari bo'lgan aralash yarimo'tkazgichlar.

Luminesans turlari. Qo'zg'alish mexanizmiga qarab, lyuminesansni quyidagicha tasniflash mumkin.

1 Foto-lyuminesans, bunda tashuvchilar foton yutilishi bilan qo'zg'aladi.
2 Katod-lyuminesans, unda tashuvchilar materialga elektronlarning yuqori energiyali bomba-bardmenti orqali hosil bo'ladi.

Machine Translated by Google

3 Elektro-luminesans, bunda tashuvchilar tokni kiritish orqali hayajonlanadi. material.

4 Kimyoviy luminesans, bunda lyuminestsensiya kimyoviy ta'sir natijasida hosil bo'ladi. Yuqoridagi turlar orasida qo'zg'alishning dastlabki uchta turi yorqin elektron qurilmalarda qo'llanilishi uchun eng muhim mexanizmdir.

4.3.1 Fotolyuminesans

Bu hayajonlangan elektron-teshik juftligining (EHP) rekombinatsiyasi tufayli yarimo'tkazgichdan yorug'lik chiqarish hodisasi. Rekombinatsiya bevosita yoki bilvosita sodir bo'lishi mumkin. Agar EHP qo'zg'alishi barqaror holatda bo'lsa, rekombinatsiya tezligi hosil bo'lish tezligi bilan bir xil bo'lib qoladi. Bunday holda, so'rilgan har bir foton uchun bitta foton chiqariladi. Yarimo'tkazgichlarda rekombinatsiya turli xil tezliklarda sodir bo'ladi: tez va sekin. Shunga ko'ra, foto-luminesans quyidagi ikki xil bo'lishi mumkin [1].

1. Floressensiya. Bu materialning tez jarayon xususiyati bo'lib, unda qo'zg'alish olib tashlanganidan keyin foton emissiyasi taxminan 10-8 soniyada to'xtaydi. Bu vaqt oralig'i EHPning o'rtacha ishlash muddati qiymatining tartibiga mos keladi (4.4-moddaga qarang). Ushbu toifaga tegishli materiallar quyidagilardir.

   - Flüoresan lampalardagi kabi volfram yoki silikatlar bilan qoplangan shisha yuzasi.
   - Sulfidlar, oksidlar, volframlar va boshqalar bilan qoplangan televizor ekrani.

2. Fosforessensiya. Bu materialning sekin jarayon xususiyati bo'lib, unda foton emissiyasi uzoqroq davom etadi, qo'zg'alish olib tashlanganidan keyin soniyalar va daqiqalar davom etadi. Ushbu toifaga kiruvchi materiallar fosforlar deb ataladi va ularga misollar quyida keltirilgan.

   - nopoklik sifatida Cu bilan qoplangan ZnS
   - nopoklik sifatida Ag bilan qoplangan CdS
   - nopoklik sifatida Tl bilan qoplangan KCl
   - nopoklik sifatida Tl bilan qoplangan NaI.

4.4 Fosforessensiya

Fosforessensiya - bu flüoresans bilan bog'liq bo'lgan o'ziga xos fotoluminesans turi. Floresansiyadan farqli o'laroq, fosforli material o'ziga singdiradigan nurlanishni darhol qayta chiqarmaydi. Qayta emissiyaning sekinroq vaqt shkalasi kvant mexanikasida energiya holatining "taqiqlangan" o'tishlari bilan bog'liq. Ba'zi materiallarda bu o'tishlar juda sekin sodir bo'lganligi sababli, so'rilgan nurlanish dastlabki qo'zg'alishdan keyin bir necha soatgacha pastroq intensivlikda qayta chiqarilishi mumkin.

Machine Translated by Google

Misol. Fosforli materiallarning tez-tez uchraydigan misollari qorong'uda porlaydigan o'yinchoqlar, bo'yoqlar va har qanday oddiy o'qish yoki xona yorug'ligi kabi yorqin yorug'lik bilan zaryadlanganidan keyin bir muncha vaqt yonib turadigan soatlardir. Odatda yorug'lik qorong'i xonada bir necha daqiqada (yoki bir necha soatgacha) asta-sekin o'chadi. Ajablanarlisi shundaki, oq fosfor (fosforessensiya nomini olgan) aslida bu xususiyatni emas, balki kimyoluminesansni namoyon qiladi.

4.4.1 Fosforessensiya materiallari

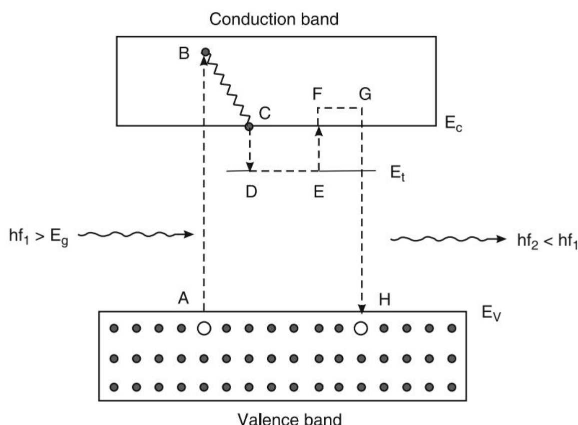
Fosforli materiallarda ishlatiladigan umumiy pigmentlarga rux sulfid va stronsiy aluminat kiradi. Biroq, sink sulfididan taxminan 10 baravar yuqori yorug'lik bilan stronsiy aluminati SrAl2O ning rivojlanishi rux sulfidiga asoslangan mahsulotlarning ko'pchiligini yangilik toifasiga kiritdi. Strontiy aluminat asosidagi pigmentlar endi chiqish belgilarida, yo'l belgilarida va boshqa xavfsizlik bilan bog'liq belgilarda qo'llaniladi.

Kimyoviy substrat yorug'lik fotonni yutadigan va keyin qayta chiqaradigan ko'pchilik fotolyuminessent hodisalar 10 ns tezlikda sodir bo'ladi. Yorug'lik ushbu tez vaqt shkalalarida so'riladi va chiqariladi, agar ishtirok etgan fotonlarning energiyasi mavjud energiya holatlariga va substratning ruxsat etilgan o'tishlariga mos keladi. Fosforessensiyaning alohida holatida so'rilgan foton energiyasi noodatiy tizimlararo kesishuvdan yuqori spin ko'paytmali energiya holatiga, odatda triplet holatga o'tadi. Natijada, energiya faqat pastki energiya holatiga qaytish uchun mavjud bo'lgan klassik "taqiqlangan" o'tishlar bilan uchlik holatiga tushib qolishi mumkin. Aksariyat fosforli birikmalar nisbatan tez emitent bo'lib, uch martalik ishlash muddati millisekundlarda bo'ladi. Biroq, ba'zi birikmalar uch martalik umrga ega bo'lib, ular bu moddalarga yorug'lik energiyasini juda sekin parchalanadigan qo'zg'aluvchan elektron holatlari shaklida samarali saqlashga imkon beradi. Agar fosforli kvant rentabelligi yuqori bo'lsa, bu moddalar uzoq vaqt davomida katta miqdorda yorug'lik chiqaradi va "qorong'ida porlash" deb ataladigan materiallarni yaratadi.

4.4.2 Fotolyuminesansda qo'zg'alish va rekombinatsiya mexanizmi

Sekin jarayon (ya'ni fosforessensiya) tasvirlangan misol 4.5-rasmda ko'rsatilgan. Bu erda ko'rsatilgan yarimo'tkazgich energiya diapazoni bo'shlig'ida Et energiya darajasiga ega, bu nopoklik yoki nuqson tufayli bo'lishi mumkin. Bu energiya darajasi elektronlarni o'tkazuvchanlik zonasidan ushlab qolish uchun kuchli tendentsiyaga ega. Ushbu mexanizmning turli xil hodisalari quyidagicha ishlab chiqilgan.

- AB yo'li. U hf1 > Masalan, keladigan energiya fotonning yutilishini ko'rsatadi va shu bilan elektron-teshik juftligini hosil qiladi.



4.5-rasm Fotolyuminessensiya hodisasida qo'zg'alish va rekombinatsiyani ko'rsatuvchi mexanizm.

• BC yo'li. Bu tarqalish tufayli qo'zg'aluvchi elektronning energiyani panjaraga berishini ko'rsatadi. Jarayon energiya darajasi o'tkazuvchanlik zonasining pastki energiya qiymatida bo'lgan energiya qiymatiga yetguncha davom etadi. • CD yo'li. Bu nopoklik energiya darajasida elektronning tutilishini ko'rsatadi . • DEF yo'li. DE yo'li elektronning EF yo'lida ko'rsatilganidek, o'tkazuvchanlik zonasiga termal qayta qo'zg'atilgunga qadar Et darajasida ushlab turilishini ko'rsatadi. • FGH yo'li. Bu to'g'ridan-to'g'ri rekombinatsiyani ko'rsatadi, chunki elektron valentlik zonasida bo'sh holatga tushadi va shu tariqa , taxminan, masalan, hf2 ga teng foton beradi .

Qo'zg'alish va rekombinatsiya o'rtasidagi kechikish vaqti, FG tuzog'idan termal qayta qo'zg'alish ehtimoli kichik bo'lsa, nisbatan uzoq bo'lishi mumkin.

4.5 Elektro-lyuminesans

Elektroluminesans (EL) - optik va elektr hodisasi, bunda material elektr tokining o'tishi yoki kuchli elektr maydoniga javoban yorug'lik chiqaradi.
Bu issiqlik (akkor), kimyoviy reaktsiya (xemiluminesans), tovush (sonolyuminesans) yoki boshqa mexanik ta'sir (mexanolyuminesans) natijasida paydo bo'lgan qora tanli yorug'lik emissiyasidan farq qiladi. Elektroluminesans materialdagi, odatda yarim o'tkazgichdagi elektronlar va teshiklarning radiatsiyaviy rekombinatsiyasi natijasidir.
Hayajonlangan elektronlar o'z energiyasini fotonlar - yorug'lik shaklida chiqaradi.
Rekombinatsiyadan oldin elektronlar va teshiklar pn birikmasini hosil qilish uchun materialni doping bilan ajratish mumkin (yorug'lik chiqaradigan diodlar kabi yarimo'tkazgichli elektroluminesans qurilmalarda) yoki kuchli elektr maydoni tomonidan tezlashtirilgan yuqori energiyali elektronlarning ta'sirida qo'zg'alish (elektroluminesans displeylardagi fosforlar kabi).

Yarimo'tkazgichga elektr tokini kiritish orqali elektro-luminesans effektini yaratish mumkinligini avvalroq o'rganib chiqdik. Bu elektr toki bo'lishi mumkin

Machine Translated by Google

yarimo'tkazgichlardan foton emissiyasini yaratish uchun turli usullarda qo'llaniladi. Bunday usullardan biri "in'ektsiya" dir. Shuning uchun jarayonning nomi - yorug'lik chiqaradigan diodlarda (LED) qo'llaniladigan in'ektsiya elektro-luminesans. Ularda ozchilik tashuvchilari elektr toki bilan kristallning ko'pchilik tashuvchilari bilan qayta birlashishi mumkin bo'lgan hududlariga AOK qilinadi. Bu rekombinatsion nurlanishning emissiyasiga olib keladi.

Elektro-luminissensiyaning ta'sirini fosfor kukunini (masalan, ZnS) plastik biriktiruvchiga qo'shadigan qurilmalarda ko'rish mumkin. Fosfor o'zgaruvchan tok (AC) maydoni qo'llanilganda yorug'lik chiqaradi. Bunday qurilma yorug'lik paneli sifatida ishlatilishi mumkin bo'lgan "elektro-luminesans xujayrasi" deb nomlanadi.

Destrau effekti. Ba'zi fosforlarda fotonlarning emissiyasi o'zgaruvchan elektr maydoniga ta'sir qilganda sodir bo'lishini ko'rsatadigan yuqoridagi tushuntirish birinchi marta Destriau tomonidan kuzatilgan. Shuning uchun bu hodisa "Destriau effekti" deb nomlanadi.

4.5.1 Elektrolyuminestsent materiallarga misollar

Elektrolyuminestsent qurilmalar organik yoki noorganik elektrolyuminessent materiallar yordamida ishlab chiqariladi. Faol materiallar odatda yorug'lik chiqishiga imkon beradigan keng tarmoqli yarim o'tkazgichlardir. Eng tipik noorganik yupqa qatlamli EL sariq-to'q sariq rangli emissiyasi bilan ZnS: Mn. Elektrolyuminestsent materiallar qatoriga quyidagilar kiradi:

• Mis (yashil rang hosil qiluvchi) yoki kumush (yorqin ko'k rang hosil qiluvchi) yoki marganets qo'shilgan yupqa qatlamli rux sulfid (to'q sariq-qizil rang hosil qiluvchi) bilan qo'shilgan kukunli sink sulfid

• Tabiiy ko'k olmos, unda dopant vazifasini bajaradigan bor izi mavjud. • Indiy fosfidi (InP), galliy arsenid (GaAs) va galliy nitridi (GaN) kabi III va V guruh elementlarini o'z ichiga olgan yarimo'tkazgichlar. • Ba'zi organik yarimo'tkazgichlar, masalan, [Ru(bpy)3]2+(PF6-)2 , bu erda bpy 2,2ÿ-bipiridin

4.5.2 Amaliy amalga oshirish

1. Ishlayotgan elektrolyuminestsent tungi chiroq 230 V da 0,08 Vt quvvat sarflaydi.
2. Eng keng tarqalgan elektroluminesans qurilmalari asosan yorug'lik dasturlarida ishlatiladigan kukun yoki ma'lumot displeylari uchun nozik plyonkalardan iborat.
3. Elektrolyuminestsent panellarni tasvirlash uchun yorug'lik chiqaradigan kondansatör (yoki LEC) ishlatiladi. Yassi elektrolyuminestsent panellar asboblar paneli displeylari uchun tungi chiroqlar va orqa yoritgichlar sifatida ishlab chiqariladi. An'anaviy usullarning kamchiliklari

Machine Translated by Google

elektrolyuminestsent chiroqlar past samaradorlik va ishlash muddati, yuzlab soatlar bilan cheklangan. Elektroluminesans panellar - bu kondansatör bo'lib, tashqi plitalar orasidagi dielektrik kondansatör zaryadlanganda fotonlarni chiqaradigan fosfordir. Kontaktlardan birini shaffof qilib, ta'sirlangan katta maydon yorug'lik chiqaradi.

4. Elektrolyuminestsent avtomobil asboblar paneli yoritgichi.
5. Kukunli fosfor asosidagi elektroluminesans panellar tez-tez suyuq kristall displeylar uchun orqa yorug'lik sifatida ishlatiladi. Ular nisbatan kam elektr quvvatini sarflagan holda butun displeyni osonlik bilan yumshoq yoritishni ta'minlaydi. Bu ularga qulaylik yaratadi

• peyjerlar, • qo'l soatlari, • kompyuter tomonidan boshqariladigan termostatlar va • yumshoq yashil-moviy porlash kabi batareya bilan ishlaydigan qurilmalar

6. Yupqa plyonkali fosforli elektroluminesans sariq rangli marganets qo'shilgan sink sulfidli materialda yorqin, uzoq umr yorug'lik emissiyasini ta'minlaydi. Ushbu texnologiyadan foydalangan holda displeylar qattiqlik va keng ko'rish burchaklari muhim bo'lgan va suyuq kristalli displeylar yaxshi rivojlanmagan tibbiy va avtomobil ilovalari uchun ishlab chiqarilgan.

7. Yaqinda uzoq umr va to'liq rangli elektroluminesans displeylar uchun potentsialni taklif qiluvchi ko'k, qizil va yashil rangli yupqa plyonkali elektroluminesans materiallari ishlab chiqildi.

Har qanday holatda ham, EL materiali ikkita elektrod orasiga o'ralgan bo'lishi kerak va ishlab chiqarilgan yorug'likning qochishi uchun kamida bitta elektrod shaffof bo'lishi kerak. Indiy-qalay oksidi bilan qoplangan shisha odatda old (shaffof) elektrod sifatida ishlatiladi, orqa elektrod esa aks etuvchi metall bilan qoplangan.
Bundan tashqari, oldingi elektrod sifatida boshqa shaffof o'tkazuvchan materiallar, masalan, uglerod nanotube qoplamalari ishlatilishi mumkin.

4.5.3 Foydali xususiyatlar

Elektroluminesans texnologiyalari neon yoki lyuminestsent lampalar kabi yorug'lik texnologiyalariga nisbatan kam quvvat sarfiga ega. Bu materialning nozikligi bilan birga EL texnologiyasini reklama sanoati uchun qimmatli qildi.
Tegishli reklama ilovalari orasida elektrolyuminestsent bilbordlar va belgilar mavjud.
EL ishlab chiqaruvchilari elektrolyuminestsent qatlamning qaysi joylari va qachon yoritilishini aniq nazorat qilishlari mumkin. Bu reklama beruvchilarga yanada dinamik reklama yaratish imkoniyatini berdi.

Asos sifatida, EL lampalar har qanday rangda tayyorlanishi mumkin. Biroq, tez-tez ishlatiladigan yashil rang inson ko'rish qobiliyatining eng yuqori sezuvchanligiga mos keladi va eng kam elektr quvvati uchun eng katta yorug'lik chiqishini hosil qiladi. Neondan farqli o'laroq va

Machine Translated by Google

lyuminestsent lampalar, EL lampalar salbiy qarshilik qurilmalari emas, shuning uchun ular orqali oqadigan oqim miqdorini tartibga solish uchun qo'shimcha sxema kerak emas. Elektrolyuminestsent yoritish endi havo nuqtai nazaridan aniq ko'rinish uchun transport vositalarining tomidagi alfanumerik belgilarni o'z ichiga olgan jamoat xavfsizligini aniqlash uchun dastur sifatida ishlatiladi. Elektroluminesans yoritgichlar kiyim-kechaklarga ham kirdi, chunki ko'plab dizaynerlar ushbu texnologiyani o'yin-kulgi va tungi hayot sanoatiga olib kelishdi.

4.6 Operatorning ishlash muddati

Elektron tashuvchisi yoki teshik tashuvchisi bo'ladimi, tashuvchilar elektron-teshik juftligi rekombinatsiyasi jarayonida parchalanadi. Emirilish odatda eksponensial xarakterga ega. Bu parchalanish muqobil ravishda umr bo'yi deb ataladi va "tashuvchining umri" deb nomlanadi. Bu elektron parchalanish muddati yoki teshik yemirilish muddati bo'lishi mumkin. Rekombinatsiya jarayoni to'g'ridan-to'g'ri yoki bilvosita sodir bo'lishi mumkinligi sababli, tashuvchining ishlash muddati ham shunga mos ravishda olinadi. Shuning uchun tashuvchining ishlash muddati deb nomlanadi

1. To'g'ridan-to'g'ri rekombinatsiyaning ishlash muddati
va 2. Bilvosita rekombinatsiyaning ishlash muddati.

Tashuvchining rekombinatsiya muddati odatda 10-8 s ni tashkil qiladi . Uning to'g'ridan-to'g'ri rekombinatsiyasini aniqlash oddiy, ammo bilvosita rekombinatsiya natijasida tashuvchining ishlash muddatini aniqlash ancha murakkab. Ularning mexanizmi va rekombinatsiya kinetikasi keyingi bo'limlarda muhokama qilinadi.

4.7 To'g'ridan-to'g'ri rekombinatsiya mexanizmida tashuvchining ishlash muddatini hosil qilish

O'tkazuvchanlik zonasidagi elektron teshik bilan birlashish uchun valentlik zonasiga o'tganda, elektronlar va teshiklarning ortiqcha populyatsiyasi parchalanadi. Shu bilan birga, elektron tomonidan yo'qolgan energiya (o'tish paytida) foton sifatida beriladi. To'g'ridan-to'g'ri rekombinatsiya bo'lsa, jarayon o'z-o'zidan sodir bo'ladi; shuning uchun elektron va teshikning rekombinatsiyasi ehtimoli vaqt bilan doimiydir. Demak, elektronlarning yemirilish tezligi n va t vaqtda qolgan p teshiklar soni. Buni quyidagicha ifodalash mumkin $\frac{dn}{dt}$ har qanday vaqtda t elektronlar soniga proportsionaldir

$$\frac{dn}{dt} / np$$

$$dn / arnp\ dt \qquad ð4:6Þ$$

Machine Translated by Google

Bu erda ar - rekombinatsiya proportsionallik doimiysi. Minus belgisi yo'qotishni ko'rsatadi tashuvchilarning (parchalanishi tufayli).

Endi o'tkazuvchanlik zonasida elektronlarning termal hosil bo'lish tezligini hisobga olsak, o'tkazuvchanlik zonasida elektron konsentratsiyasining o'zgarishining aniq tezligi bo'lishi mumkin sifatida ifodalangan

$$\frac{dn}{dt} ¼ arn2 \ \text{men} \ arnp \qquad ð4:7Þ$$

bu erda ni - sm3 ga elektronlarning ichki konsentratsiyasi .

4.7.1 Taxminlar va soddalashtirishlar

Agar shunday deb taxmin qilsak

(i) a kabi ba'zi vositalar yordamida t = 0 da ortiqcha elektron teshik populyatsiyasi yaratiladi yorug'lik chirog'i va

(ii) ortiqcha elektron Dn va ortiqcha teshiklarning Dp boshlang'ich konsentratsiyasi teng (ya'ni Dn = Dp), keyin ortiqcha elektronlarning oniy konsentratsiyasi dn va ortiqcha teshiklari bp ham teng bo'ladi. Buning sababi elektronlar va teshiklar juft bo'lib qayta birlashtiring. Demak, tenglama. 4.7 muvozanat nuqtai nazaridan qayta yozilishi mumkin n0 va p0 qiymatlari sifatida

$$\frac{dð Þ dn}{dt} ¼ arn2 \ \text{i} \ ar½ðð Þ n0 þ dn Þ p0 þ dp \qquad ð 4:8aÞ$$

dn = bp bo'lgani uchun tenglama. 4.8a soddalashtirilgan

$$\frac{dð Þ dn}{} ar ð Þ dt \ \ n0 þ p0 dn þ dn2 ¼ \qquad ð4:8bÞ$$

Haddan tashqari tashuvchining kontsentratsiyasi kichik bo'lsa, dn2 atamasi bo'lishi mumkin e'tibordan chetda qolgan. Bundan tashqari, agar yarimo'tkazgich materiali tashqi bo'lsa, muvozanat ozchilik tashuvchisi atamasi e'tibordan chetda qolishi mumkin. Masalan, n-tipda (n0 ÿ p0) va p-tipi bo'lsa (p0 ÿ n0). Shuning uchun p-tipli yarimo'tkazgichni olishda, tenglama. 4.8b sifatida o'zgartiradi

$$\frac{dð Þ dn}{} ¼ arp0dn \ dt \qquad ð4:9Þ$$

Machine Translated by Google

4.7.2 Yashash vaqtini aniqlash uchun tenglama yechimi

Tenglamaning yechimi. 4.9 tomonidan berilgan ifodani beradi

$$\delta n(t) = \Delta n e^{(-a_r q_0 t)} = \Delta n e^{-\frac{t}{\tau_{rln}}} \qquad (4.10)$$

Bu tashuvchining dastlabki ortiqcha tashuvchi kontsentratsiyasi Dn dan eksponensial yemirilishini ko'rsatadi. Yuqoridagi ifodada trln rekombinatsiya muddati, uning qiymati

$$\tau_{rln} = \frac{1}{a_r p_0} \qquad (4.11a)$$

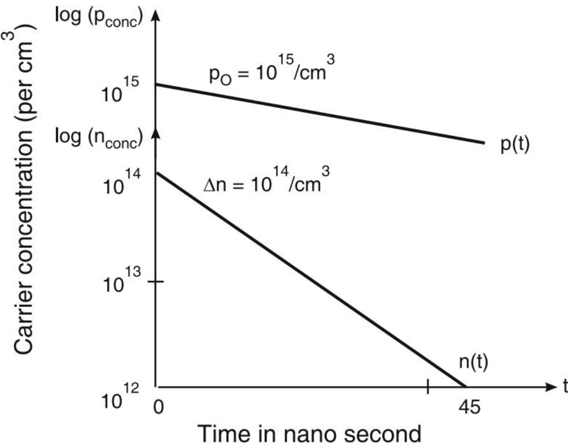
Ushbu umr, shuningdek, ozchilik tashuvchining umri sifatida ham tanilgan, chunki yuqoridagi tahlil ozchilik tashuvchilarni hisobga olgan holda. Shunga o'xshash mulohazalar bilan, ning chirishi n-tipli tashqi yarimo'tkazgich materialida ortiqcha teshiklar qachon paydo bo'ladi

$$\tau_{rln} = \frac{1}{a_r n_0} \qquad (4.11b)$$

4.7.3 Ifodani umumlashtirish

Tashuvchining ishlash muddati tcln uchun umumiyroq ifodani tenglamalarni birlashtirish orqali olish mumkin. 4.11a va 4.11b. Sifatida beriladi

$$\tau_{cln} = \frac{1}{a_r(n_0 + p_0)} \qquad (4.12)$$



4.6-rasm Ortiqcha parchalanish elektronlar va teshiklar tomonidan rekombinatsiya yoqilgan yarim logarifmik grafik

Machine Translated by Google

Biroq, bu past in'ektsiya darajasi uchun amal qiladi. Tashuvchi konsentratsiyasining vaqtga bog'liqligi 4.6-rasmda yarim log egri chizig'ida ko'rsatilgan. Bu shuni ko'rsatadiki, agar t = 0 da 1014 EHP / sm3 hosil bo'lsa, bu tashuvchilarning parchalanish vaqtini aniqlash mumkin. Bu yarim loga-ritmik grafikda n ning t ga bog'liq bo'lgan eksponensial yemirilishi chiziqli.

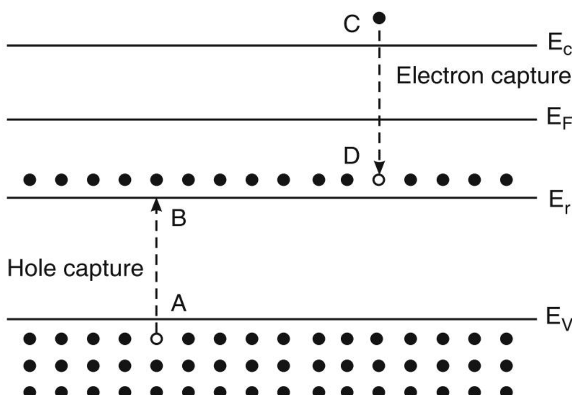
4.8 Bilvosita rekombinatsiya (ya'ni, qo'lga olish yoki qo'lga olish jarayoni)

AlP, SiC, GaP, PbS va boshqalar kabi bilvosita yarimo'tkazgichlarda rekombinatsiya rekombinatsiya energiya darajalari orqali tarmoqli oralig'ida sodir bo'ladi. Bu rekombinatsiya markazi bo'lib xizmat qiladigan va juftlikni yo'q qilishga qodir bo'lgan har qanday bunday panjara nuqsoni yoki nopoklik bilan yuzaga keladi. Annigilyatsiya bir turdagi (aytaylik, n-tip) tashuvchini olish va qarama-qarshi turdagi (aytaylik, p-tip) tashuvchini qo'lga olish orqali mumkin. Odatda rekombinatsiya energiya darajasi Er 4.7 -rasmda ko'rsatilgan . Muvozanat holatida u Fermi energiya darajasidan EF past. Bu energiya darajasi Er sezilarli darajada elektronlar bilan to'ldirilgan.

Yarimo'tkazgichda ortiqcha elektronlar va teshiklar hosil bo'lganda, har bir elektron-teshik juftligi Erda quyidagi tarzda qayta birlashadi.

(i) Teshikni ushlash (rasmda AB tomonidan ko'rsatilgan). Rekombinatsiya jarayonidagi birinchi qadam - bu teshikni ushlash, chunki rekombinatsiya markazlari muvozanat holatida to'ldiriladi. Bu holat Er energiya darajasidagi elektronning valentlik zonasiga tushishiga teng bo'lib, bu bilan B da Erda bo'sh holat qoldiradi . Teshikni tutib olishda energiya issiqlik shaklida panjaraga beriladi.

(ii) Elektron ushlash (rasmda CDda ko'rsatilgan). Xuddi shunday, o'tkazuvchanlik zonasidan elektron Er energiya darajasida bo'sh holatga tushganda , energiya yana beriladi.



4.7-rasm. To'ldirilgan rekombinatsiya markazidagi teshiklarni ushlash jarayonlari va bo'sh markazda elektronni ushlash jarayoni

Machine Translated by Google

Yuqoridagi voqealar tugagandan so'ng, rekombinatsiya markazi o'zining asl holiga keladi holati va elektron bilan to'ldirilgan, lekin etishmayotgan EHP bilan. ni bildiradi bitta EHPning rekombinatsiyasi. Endi rekombinatsiya markazi tayyorlanmoqda boshqa bunday hodisaning takrorlanishi.

4.3-misol tashuvchining (a) Si va (b) GaAs da elektronlar bo'lganda tashuvchining ishlash muddatini hisoblang. ning teshik konsentratsiyasiga ega bo'lgan p-tipli mintaqaga ozchilik tashuvchilari AOK qilinadi 1018/sm3 . AOK qilingan elektron zichligi zichligi bilan solishtirganda kichikdir ko'pchilik tashuvchisi. Si ning rekombinatsiya koeffitsientini 1,79 × 10ÿ15 sm3 / s deb oling va bu GaAs uchun 7,21 × 10ÿ10 sm3 / s.

Yechim. Berilgan: arSi = 1,79 × 10ÿ15 sm3 s, arGaAs = 7,21 × 10ÿ10 sm3 s va p0 = 1018/sm3 .

Shuning uchun tenglamadan foydalanish. 4.12, biz yozamiz

tcln ¼ 1 / arð Þ n0 þ p0

1 / arð Þ p0 ðas n0 p0Þ

ðaÞ Si uchun tcln ¼ 1 / ð 1:79 1015 Þ 1018 ¼ 0:56 ms

ðbÞ GaAs tcln ¼ 1 / ð 7:21 1010 Þ 1018 uchun ¼ 1:39 ns

4.9 Barqaror holatdagi tashuvchini yaratish

Har xil rekombinatsiya mexanizmlari oddiy issiqlik muvozanatida yoki barqaror holatdagi EHP avlod-rekombinatsiya balansida muhim ahamiyatga ega. Masalan, a Muvozanatdagi yarimo'tkazgich EHPlarning issiqlik hosil qilish tezligini boshdan kechiradi arn0p0 = arni tomonidan berilgan ^{2} · Bu avlod rekombinatsiya tezligi bilan muvozanatlangan n0 va p0 tashuvchilarning muvozanat konsentratsiyasi saqlanib qoladi:

g Tð Þ¼ arn2 $_i$ ¼ arn0p0 ð4:13Þ

Bu muvozanat stavkasi balansi nuqson markazlaridan hosil bo'lishni ham o'z ichiga olishi mumkin banddan guruhga avlod sifatida.

Agar namunaga barqaror yorug'lik tushsa, optik avlod tezligi gop bo'ladi issiqlik hosil bo'lishiga qo'shiladi va tashuvchining kontsentratsiyasi n va p ortadi yangi barqaror holat qiymatlariga. Generatsiya va rekombinatsiya o'rtasidagi muvozanat muvozanat tashuvchisi konsentrasiyalari va muvozanatdan chetlanishlar shartlari dn va bp, endi shunday yozilishi mumkin

$$g(T) = g_{op} = \alpha_r np = \alpha_r(n_0 + \delta n)(p_0 + \delta p) \quad (4.14)$$

dn = dp sifatida; shuning uchun barqaror holat rekombinatsiyasi va tuzoqqa tushmaslik, Eq. (4.14) aylanadi

$$g(T) = g_{op} = \alpha_r n_0 p_0 + \alpha_r[(n_0 + p_0)\delta n + \delta n^2] \quad (4.15)$$

arn0p0 atamasi g(T) issiqlik hosil qilish tezligiga teng. Shunday qilib,

Past darajadagi qo'zg'alish uchun dn2 atamasini e'tiborsiz qoldirib , biz tenglikni qayta yozishimiz mumkin. (4.15) kabi

$$g_{op} = \alpha_r(n_0 + p_0)\delta n = \frac{\delta n}{\tau_n} \quad (4.16)$$

Tashuvchining ortiqcha konsentratsiyasi quyidagicha yozilishi mumkin

$$\delta n = \delta p = g_{op}\tau_n \quad (4.17)$$

4.9.1 Kvazi-fermi darajalari

Ko'pincha barqaror holatdagi elektron va teshik kontsentratsiyasiga murojaat qilish tavsiya etiladi turli qurilmalar uchun tarmoqli diagrammalariga kiritilishi mumkin bo'lgan Fermi darajalari shartlari. Ilgari ishlatilgan Fermi darajasi EF faqat ortiqcha tashuvchilar bo'lmaganda mazmunli bo'ladi hozir. Biroq, biz barqaror holatdagi kontsentratsiyalar uchun ifodalarni yozishimiz mumkin alohida kvazi-Fermini belgilash orqali muvozanat ifodalari bilan bir xil shakl elektronlar va teshiklar uchun Fn va Fp darajalari . Keyin olingan tashuvchining kontsentratsiyasi tenglamalar bo'ladi

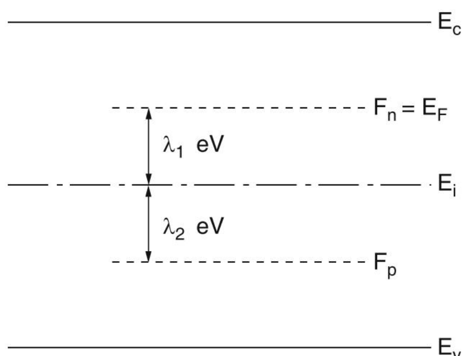
$$n = n_i e^{\frac{(F_n - E_i)}{kT}} \qquad p = n_i e^{\frac{(E_i - F_p)}{kT}} \quad (4.18)$$

Bularni kvazi-fermi darajalari uchun belgilovchi munosabatlar deb hisoblash mumkin.

4.8- rasmdagi kvazi-fermi darajalari muvozanatdan chetlanishni ko'rsatadi . optik qo'zg'alish natijasida yuzaga keladi. Barqaror holat Fn faqat bir oz yuqorida muvozanat EF, Fp esa EF dan past darajada siljiydi . Rasmdan shunday qo'zg'alish ozchilik tashuvchisi teshigida katta foiz o'zgarishiga olib kelishi aniq kontsentratsiyasi va elektron konsentratsiyasining nisbatan kichik o'zgarishi.

Shunday qilib, kvazi-Fermi darajalari Fn va Fp ning barqaror holat analoglari hisoblanadi muvozanat Fermi darajasi EF. Ortiqcha tashuvchilar mavjud bo'lganda, ning og'ishlari EF dan Fn va Fp elektron va tuynuk populyatsiyalari dan qanchalik uzoqda ekanligini ko'rsatadi ning konsentratsiyasi berilgan Si namunasi uchun muvozanat qiymatlari n0 va p0.AFn va Fp ortiqcha EHPlar nisbatan ozchilik tashuvchisi kvazi-Fermi darajasida katta o'zgarishlarga olib keladi

Machine Translated by Google



4.8-rasm Odatda Kvazi-Fermi darajalari

bu bilan ko'pchilik tashuvchilar uchun. Fn - Fp kvazi-Fermi darajalarining ajralishi muvozanatdan og'ishning bevosita o'lchovidir (muvozanatda Fn = Fp = EF).
Kvazi-Fermi darajalari tushunchasi bu miqdorlar joylashuvga qarab o'zgarib turadigan qurilmalarda ozchilik va ko'pchilik tashuvchilar kontsentratsiyasini vizualizatsiya qilishda juda foydali.

4.10 Fotoo'tkazuvchanlik

Yarimo'tkazgichda ortiqcha elektronlar va teshiklar hosil bo'lganda, materialning o'tkazuvchanligi ortadi. Bu bobda s = ne ee μe + nh eh μh tenglamasi bilan tasvirlangan . 2 shuningdek. Garchi ortiqcha elektronlar va teshiklar turli xil vositalar bilan yaratilishi mumkin; lekin agar ular optik lyuminesansdan kelib chiqsa, o'tkazuvchanlikning oshishi "foto o'tkazuvchanlik" deb ataladi.
Bu yarimo'tkazgichli qurilmalarni tahlil qilish va ishlatishda qo'llaniladigan muhim hodisa. Ba'zi amaliy qo'llanmalar quyidagi qurilmalarda mavjud.

• Diodlar •
Tranzistorlar •
Fotoelementlar
• Lazerlar

4.10.1 Fotoo'tkazuvchan qurilmalarni qo'llash

Yorug'lik ta'sirida ularning qarshiligini o'zgartiradigan fotoo'tkazuvchan qurilmalarning ko'plab ilovalari mavjud. Ular orasida asosiylari quyidagilardir.

1 ishlatiladigan yorug'lik detektorlari

(i) uyda, ko'chalarda, sanoatda va hokazolarda tungi chiroqlarni avtomatik boshqarish.
Bu chiroqlar kechqurun yonadi va tongda avtomatik ravishda o'chadi.

Machine Translated by Google

(ii) yorug'lik darajasini o'lchash uchun kameralarning ekspozitsiya o'lchagichlari.

2-da ishlatiladigan kabi harakatlanuvchi obyekt hisoblagichlari

(i) suv osti kemasi, kema va boshqalarni aniqlash.
(ii) samolyotni aniqlash
(iii) past tezlikda hisoblash

3 o'g'irlik signallari
4 Optik signalizatsiya tizimlari
5 ta televizor kameralari
6 foto yorug'lik o'lchagich
7 ta infraqizil detektorlar
8 Avtomatik eshik ochuvchi
9 yong'in signalizatsiyasi
10 Kinematografiya va boshqalar.

4.10.2 Fotoo'tkazuvchan materiallar va ta'sir etuvchi omillar Ularning tanlovi

Har xil yarimo'tkazgichli qurilmalarda bir qator fotoo'tkazuvchan materiallar qo'llaniladi. Ular orasida asosiylari quyidagilardir.

S. Misol yo'q		Belgi	Masalan	Asosiy dastur
1	germaniy	Ge	(eV) 0,67	Spektrning infraqizil qismida
2	Telur	Te	0,34	-
3	Kadmin sulfid	CdS	2.42	Yashil yorug'likdagi fotoo'tkazgich (ko'rinadigan diapazon).
4	Kadmin sellurid	CdSe	1.74	Qizil nurda fotoo'tkazgich
5	kadmiy tellurid	CdTe	1.45	Infraqizil mintaqada foto o'tkazgich
6	Qo'rg'oshin sulfid	PbS	ÿ0,38	Fotoo'tkazgichlar
7	Qo'rg'oshin sellurid	PbSe	ÿ0,32	Fotoo'tkazgichlar
8	Qo'rg'oshin telluridi	PbTe	ÿ0,33	Fotoo'tkazgichlar
9	Sink sulfid	ZnS	3.82	Fotolyuminessensiya
10	Sink oksidi	ZnO	3.3	-
11	Galiy sellurid	GaSe	2.09	-
12	Galiy arsenid	GsAs	1.37	Diyot, lazer
13	Galiy antimonid	GaSb	0,82	Lazer

(davomi)

Machine Translated by Google

(davomi)

S. Misol yo'q		Belgi	Masalan	Asosiy dastur
14	Indiy antimonid	InSb	(eV) 0,18	Spektrning infraqizil qismida
15	Indiy fosfid	InP	1.37	Fotonni aniqlash
16	Qotishma	CDSx Se1-x	1,80–2,50 –	
17	Qotishma	GaAsxP1 – x	1,41–1,95	-

Qayta ishlab chiqarilgan: [1]

Muayyan qo'llash uchun mos bo'lgan yarimo'tkazgich boshqasiga mos kelmasligi mumkin ilova. Xuddi shunday, barcha yarim o'tkazgichlar ham xuddi shunday qilish uchun mos emas qurilma. Ularning tanlovi turli omillarga asoslanadi. Bular quyida tavsiflanadi.

4.10.3 Yarimo'tkazgichni tanlashga ta'sir qiluvchi omillar

Muayyan dastur uchun mos fotosurat o'tkazuvchi materialni tanlash quyidagi omillarga bog'liq.

- Sezuvchan to'lqin uzunligi diapazoni
- Vaqt javobi va
- Materialning optik sezgirligi

Shu nuqtai nazardan, quyida keltirilgan xususiyatlar tanlov uchun asos bo'ladi yarimo'tkazgichlar.

1. Yarimo'tkazgichlar energiyalari teng bo'lgan fotonlarga eng sezgir yoki tarmoqli bo'shlig'idan bir oz ko'proq Masalan. Shuning uchun,

   (i) kamroq energiyali fotonlar so'rilmaydi.

   (ii) yuqori energiyali fotonlar (hf ÿ Masalan) sirtda so'riladi, lekin ular ommaviy o'tkazuvchanlikka ozgina hissa qo'shadi.

2. Ba'zi yarim o'tkazgichlar energiyalari kamroq bo'lgan fotonlarga sezgir tarmoqli bo'shliq energiyasidan (ya'ni hf < Masalan). Buning sababi, ular javob berishadi tarmoqli oralig'ida joylashgan nopoklik darajalaridan tashuvchi qo'zg'alishlar.
3. Fotoo'tkazuvchan hujayralarni yaratish uchun ishlatiladigan yarimo'tkazgichlar cheklangan vaqtga javob beradi tashuvchilarning tutilishi, rekombinatsiya vaqti va tashuvchilar uchun zarur bo'lgan vaqt tufayli elektr maydonida qurilma orqali o'tish uchun. Biroq, to'g'ri tanlash bilan materiallar va qurilma geometriyasi, vaqtga javob berish xususiyatlarini yaxshilash mumkin.

Machine Translated by Google

4. Fotoo'tkazgich sifatida foydalanish uchun mo'ljallangan yarimo'tkazgichlar yuqori optik sezgirlikka ega bo'lishi kerak. Maksimal fotoo'tkazuvchanlik reaktsiyasi uchun material yuqori harakatchanlik va uzoq umrga ega bo'lishi kerak. Shuning uchun InSb fotoo'tkazuvchan qurilmalarni ishlab chiqarish uchun yaxshi tanlovdir. Uning elektron harakatchanligi taxminan 105 sm2 /Vs ni tashkil qiladi va shundaydir sifatida ishlatiladi

• sezgir infraqizil detektor.

4.11 Fotoo'tkazuvchan hujayra [1]

Uning ishlashi Se, CdS, PbS va talmiy-sulfid (TlS) va boshqalar kabi yarimo'tkazgichli materiallarning nurlanish qarshiligining pasayishi printsipiga asoslanadi.
Ya'ni, bunday materiallar "qorong'i" yuqori qarshilikka va nurlanishga qarshi past qarshilikka ega.

Qurilish. Bunday hujayraning selen yordamida eng oddiy shakli 4.9a, b-rasmda ko'rsatilgan. U yarimo'tkazgichli materialdan iborat bo'lib, unga ikkita elektrod biriktirilgan. Yoritilmaganda (qorong'i) hujayraning qarshiligi har doim yuqori bo'ladi, shuning uchun 4.9a- rasmda ko'rsatilgan kontaktlarning zanglashiga olib keladigan oqim past bo'ladi. Hujayra yoritilsa, hujayra qarshiligi pasayadi va elektron oqim katta bo'ladi. Yarimo'tkazgich materialining shakli "qorong'u va yorug'lik" qarshiligining katta nisbatini olish uchun qilingan.

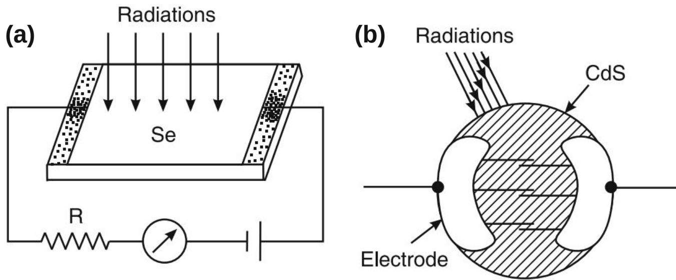
Ko'p ishlatiladigan CdS xujayrasi 4.9b-rasmda ko'rsatilgan. U juda yuqori qorong'u/yorug'lik nisbatiga ega va taxminan 5000 atom birligida maksimal javob beradi. Nozik material bilan aloqa qilish maydonini oshirish uchun ikkita elektrod inter-raqamli naqshda kengaytiriladi.

Foydalanadi. TIS va PbS dan foydalanadigan fotoo'tkazuvchan hujayralar kemalar va samolyotlarni ularning chiqindilari yoki hunilari tomonidan chiqariladigan nurlanishlar yordamida aniqlash va modulyatsiyalangan infraqizil nurlar orqali telefon aloqasi uchun ishlatiladi.
Past tezlikda hisoblash uchun yoki yong'in yoki o'g'ri signali sifatida ishlatilishi mumkin bo'lgan bunday hujayradan foydalanadigan sxema 4.10a-rasmda ko'rsatilgan . 4.10b- rasmda tiratron va o'zgaruvchan tok manbaidan foydalangan holda shunga o'xshash sxema ko'rsatilgan. Har bir holatda, hujayraga etarlicha yorug'lik tushganda, valf o'rni o'tkazadi va quvvatlantiradi. Rezistor R o'rni ishlashi uchun yorug'lik darajasini sozlash uchun o'zgartirilishi mumkin.

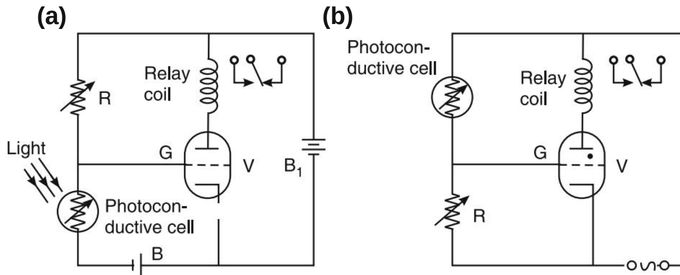
4.11.1 Fotosurat ko'paytiruvchi trubka

Fototubada tok sekundli emissiya orqali elektronlarni ko'paytirish orqali kuchayadi. Bunday ko'paytiruvchi trubaning ko'ndalang kesimi 4.11-rasmda ko'rsatilgan . U 9 ta elektroddan (dinodlar deb ataladi) iborat bo'lib, ular 0 fotokatoddan diagrammada 10 bilan belgilangan anodgacha ketma-ket ortib boruvchi potentsiallarda saqlanadi. Katodga yorug'lik tushganda, fotoelektronlar chiqariladi

Machine Translated by Google



4.9-rasmda kontaktlarning zanglashiga olib boradigan Se va b CdS ni ko'rsatadigan fotoo'tkazuvchan hujayra



4.10-rasm. Yong'in signalizatsiyasi sxemasi, o'z ichiga aa batareyasi va b o'zgaruvchan tok bilan foto o'tkazuvchi hujayradan iborat.

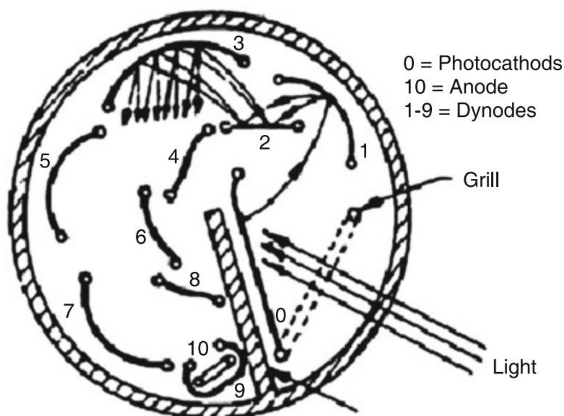
ÿ dinod tomon tezlashtirilgan. 1, chunki u yuqori potentsialda. Ushbu dinod bilan to'qnashganda, ular ÿ dinod tomonidan tortiladigan ikkilamchi elektronlarni chiqaradilar. 2, chunki u nisbatan yuqori potentsialda. Bu elektronlar undan boshqa ikkilamchi elektronlarni chiqaradi, ular ÿ dinod tomonidan tortiladi. 3. Turli dinodlardan ikkilamchi emissiya jarayoni elektronlar nihoyat anod tomonidan yig'ilgunga qadar davom etadi. Ko'rinib turibdiki, har bir dinodda ikkilamchi elektronlar soni ko'payishda davom etadi.

4.12 Tashuvchilarning tarqalishi

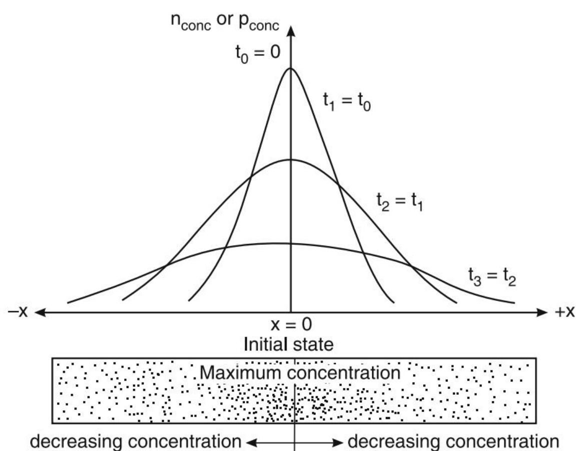
Diffuziya - bu material ichidagi tashuvchilarning harakatini boshqaradigan oqim jarayoni. Bu ortiqcha tashuvchilar yarimo'tkazgichda bir xil bo'lmagan holda yaratilganda sodir bo'ladi. Natijada, elektronlar va teshiklar elektr maydon gradienti va / yoki kontsentratsiya gradienti ta'sirida o'z o'rnini o'zgartiradi. Keyin tashuvchilarning yuqori konsentratsiyali mintaqadan past konsentratsiyali hududga aniq harakati boshlanadi. Shunday qilib, diffuziya zaryadni tashish jarayonidir.

Machine Translated by Google

4.11-rasm Fotoko'paytiruvchi trubaning ko'ndalang kesimi



4.12-rasm Diffuziya jarayoni elektronlar impulsining tarqalishiga olib keladi



Yarimo'tkazgichlarda tashuvchilar tasodifiy issiqlik harakati va panjara va aralashmalardan tarqalish orqali tarqaladi. Ortiqcha elektronlar impulsining tarqalishi 4.12-rasmda ko'rsatilgan. Dastlab t = 0 da, ortiqcha elektronlar x = 0 da to'planadi, vaqt o'tishi bilan ular kamroq konsentratsiyali hududlarga tarqaladi.

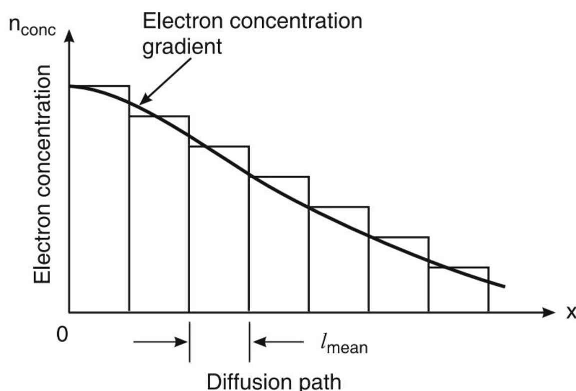
4.12.1 Elektron va teshik diffuziya tezligini aniqlash

Bir o'lchovli holatda elektron diffuziya tezligini 4.13-rasmda ko'rsatilganidek, kichik o'sish segmentlarini hisobga olgan holda aniqlash mumkin. U diffuziya yo'li x funktsiyasi sifatida elektron kontsentratsiyasini ko'rsatadi . Teshik konsentratsiyasi pconc va diffuziya yo'li ham ushbu profil bilan ifodalanishi mumkin. Har bir segmentning kengligi

Machine Translated by Google

4.13-rasm O'zboshimchalik bilan elektron kontsentratsiyasi

ning x yo'nalishi bo'ylab gradient yarimo'tkazgich



lmean deb qabul qilinadi , bu ikki ketma-ket to'qnashuv orasidagi o'rtacha erkin uzunlikka teng. X ning musbat yo'nalishi bo'yicha elektron oqimining tezligi, ya'ni yuqoridan pastgacha A maydon birligiga kontsentratsiyani quyidagicha ifodalash mumkin.

$$\frac{dn}{} ¼ Dnx A dt \frac{dnconc}{dx} \quad ð4:19aÞ$$

va

$$\frac{dp}{dx} ¼ Dpx A dt \frac{dpconc}{} \quad ð4:19bÞ$$

qaerda dt $\frac{dn}{}$ va dp$\frac{}{dt}$ elektronlar soni va bir birlikka tarqaladigan teshiklar soni ko'ndalang kesimga bo'lgan vaqt diffuziya yo'li x yo'nalishiga normal A.

$\frac{dnconc}{dx}$ va dpconc $\frac{}{dx}$ elektronlar va teshiklarning kontsentratsiya gradienti.

Dnx va Dpx mos ravishda elektron va teshikning diffuziya koeffitsientlari. Bular atamalar elektron diffuziya va teshik tarqalishi deb ham ataladi. Ularning birligi mm2 /s yoki sm2 /s. Ba'zi yarim o'tkazgichlar uchun diffuziya koeffitsientlari 4.1-jadvalda keltirilgan .

Yuqoridagi tenglamalardagi manfiy belgi elektronlarning aniq harakati va ekanligini ko'rsatadi diffuziya tufayli teshiklar ularning kontsentratsiyasining kamayishi yo'nalishida bo'ladi.

4.19a–4.19b tenglamalari quyidagicha yozilishi mumkin

$$Jn ¼ \frac{1}{A} \frac{dn}{dt\ dx} ¼ Dnx \frac{dpconc}{} \quad ð4:20aÞ$$

$$JP ¼ \frac{1}{A} \frac{dp}{dt\ dx} ¼ Dpx \frac{dpconc}{} \quad ð4:20bÞ$$

Bu erda Jn va Jp - elektron va teshiklarning diffuziya oqimi birlik kesma maydoniga to'g'ri keladi. birlik vaqti (ya'ni oqim zichligi). Uning birligi (elektron yoki teshik)/(sm2 /s). Umuman olganda, a oqim Jn va Jp qiymatining o'zgarishi x pozitsiyasi va t vaqtiga bog'liq holda sodir bo'ladi.

Machine Translated by Google

4.1-jadval Elektron va teshik ba'zilarining diffuziyasi yarimo'tkazgichlar

Diffuzivlik	Si	Ge	GaAs
Dnx (sm2 /s)	35	100	220
Dpx (sm2 /s)	12.5	50	10

Demak, masalaning umumiy holatida Jn(x,t) va Jp(x,t) ko'rinishda yoziladi .
Biroq barqaror holat sharoitida u Jn(x) va Jp(x) sifatida yoziladi, chunki faqat konsentratsiya vaqt o'tishi bilan o'zgarmaydi.

4.12.2 Drift va diffuziya tashuvchilarni tahlil qilish

Yarimo'tkazgichlarda o'tkazuvchanlik mexanizmi "elektronlarning siljishi" va "tashuvchilarning tarqalishi" bilan bog'liqligini yuqorida ko'rgan edik. Natijada, quyidagi yarimo'tkazgichda ikki xil oqim o'tadi.

1 Elektr maydonidan kelib chiqadigan Drift oqimi va
2. Tashuvchi konsentratsiyasining gradienti tufayli diffuziya oqimi.

Ushbu oqimlarning oqimi ikkalasiga ham tegishli: elektronlarga ham, teshiklarga ham. beri o'tkazuvchanlik elektronlari bilan bog'liq o'tkazuvchanlik s e = ne eμe (3-bobga qarang) va o'tkazuvchanlik teshiklari bilan sh = nh eμh, shuning uchun oqim zichligi bog'liq elektronlar va teshiklarning siljishi bilan, qo'llaniladigan maydon tufayli E deb yozilishi mumkin

Je ¼ neeleE ð4:21aÞ

va

Jh ¼ nhelhE ð4:21bÞ

Diffuzivlik. Stabillik uchun Fikning 1-qonunida berilgan diffuziya nazariyasiga ko'ra holat holati, bir o'lchovli holatda x o'qi bo'ylab tashuvchilarning aniq oqimi tomonidan berilgan

$$\frac{dg}{dt} \text{ ¼ DxA } \frac{dg}{dx} \qquad \text{ð4:22Þ}$$

Bu yerda ÿ - tashuvchilarning zichligi, dÿ/dt - vaqt birligida tarqaladigan tashuvchilar soni A ko'ndalang kesim maydoniga diffuziya yo'nalishiga normal x, dÿ/dx bo'ladi kontsentratsiya gradienti, Dx esa x yo'nalishi bo'yicha diffuziya koeffitsienti. Atama Dx xalq orasida diffuziya sifatida tanilgan. Bu doimiy va tizimni ifodalaydi xarakterli. Yuqoridagi tenglamadagi minus belgisi konsentratsiyani bildiradi ortadi, diffuziya tufayli zarrachalar oqimi salbiy x-yo'nalishda sodir bo'ladi.
4.22 tenglama quyidagicha yozilishi mumkin

Machine Translated by Google

$$J_x = \frac{1}{A}\frac{dg}{dt} = -D_x\frac{dg}{dx} \quad (4.23)$$

bu yerda Jx - vaqt birligidagi birlik ko'ndalang kesim maydoniga diffuziya oqimi.

Shunday qilib, teshik oqimi oqim hissalarining yig'indisi sifatida yozilishi mumkin elektr maydonidan va diffuziya jarayonidan quyidagi tarzda olinadi.

$$J_h = n_h e \mu_h E - e D_{xh}\frac{dg_h}{dx} \quad (4.24a)$$

bu erda Dxh - teshiklarning diffuziya koeffitsienti. To'lov uchun e atamasi paydo bo'ladi ga teng bo'lgan elektr toki tufayli diffuziya hissasi zarracha oqimi zarrachaga to'g'ri keladigan zaryad e ni ko'paytiradi. Shunga o'xshash ifoda yozilishi mumkin elektron uchun ham va quyidagicha berilgan

$$J_e = n_e e \mu_e E + e D_{xe}\frac{dg_e}{dx} \quad (4.24b)$$

Bu holda diffuziya hissa muddati ijobiy, chunki uchun zaryad elektron -e (teshiklardagi kabi +e emas).

Tenglamalar yig'indisi. 4.24a va 4.24b umumiy (yoki natijaviy) oqimni beradi. Bu

$$J_h + J_e = (n_h e \mu_h E + n_e e \mu_e E) - \left(e D_{xh}\frac{dg_h}{dx} - e D_{xe}\frac{dg_e}{dx}\right) \quad (4.25)$$

$$= \text{Drift oqimi} - \text{Diffuziya oqimi}$$

Diffuziya oqimi rektifikator va tranzistor harakatlarida muhim rol o'ynaydi.

4.13 Eynshteyn munosabatlari

Agar yarimo'tkazgichga E elektr maydoni va kontsentratsiya gradienti ta'sir etsa dÿ/dx shundayki, natijaviy oqim tenglama bilan berilgan. 4,25 nolga teng; muhim munosabat diffuziya koeffitsienti Dx va harakatchanlik m o'rtasida o'rnatilishi mumkin tashuvchilar. Bu munosabat Eynshteyn munosabati deb nomlanadi. Yo'q sharti bilan oqim, tizim issiqlik muvozanatida qoladi va teshik zichligi gradienti tomonidan beriladi

$$\frac{dg_h}{dx} = -\frac{e}{KT} g_h \frac{dV}{dx} \quad (4.26)$$

bu yerda K Boltsman doimiysi va dV/dx = ÿE(x). Bu erda V potentsial va E elektr maydoni x yo'nalishining funktsiyasi sifatida.

Machine Translated by Google

Teshik oqimi issiqlik muvozanatida yo'qolganligi sababli, tenglamalardan foydalaniladi. 4.24a va 4.26, biz olamiz

$$D_h = \frac{KT}{e} \mu_h \qquad (4.27a)$$

Xuddi shunday elektronlar uchun ham munosabatlar mavjud

$$D_e = \frac{KT}{e} \mu_e \qquad (4.27b)$$

4.27a–4.27b tenglamalar Eynshteyn munosabatlari boÿlib, harakatchanlik maÿlum boÿlsa, turli haroratlarda diffuziyani hisoblashda foydalanish mumkin. Xona haroratida germaniy uchun bu qiymatlar • De = 0,0093 m2 s • Dh = 0,0044 m2 s.

ÿ2 , va

ÿ2 .

4.14 Uzluksizlik tenglamasi (ya'ni diffuziya va rekombinatsiya)

Uzluksizlik tenglamasi o'tish joylari va tranzistorlarni to'g'rilashda ozchilik tashuvchilarning xatti-harakatlarini tavsiflaydi. P-tipli yarimo'tkazgichdagi ozchilik tashuvchilar (elektronlar) va n-tipli yarimo'tkazgichdagi teshiklar yuqoridagi qurilmalar nazariyasini va ularning dizaynini tushunishda muhim rol o'ynaydi. P-tipli yarimo'tkazgichda uzluksizlik tenglamasi uchun hosila asosi hisoblanadi

$$\begin{bmatrix} \text{Elektronlarning} \\ \text{ko'payishining} \\ \text{vaqt tezligi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Elektronlarning} \\ \text{issiqlik hosil} \\ \text{qilish tezligi} \end{bmatrix} + \begin{matrix} \text{Rekombinatsiya} \\ \text{tufayli o'sish tezligi} \end{matrix}$$

elektron oqimi yoki teshik oqimi bo'lmasa. Va agar elektron oqim mavjud bo'lsa

u orqali o'tib, asosiy tenglamani shakllantirishni o'z ichiga oladi

$$\begin{matrix} \text{Elektron zichligining} \\ \text{umumiy o'zgarish tezligi ne} \end{matrix} = \begin{matrix} \text{Je = 0 uchun ne} \\ \text{ning o'zgarish darajasi} \end{matrix} + \begin{matrix} \text{Je tufayli chnge} \\ \text{ne darajasi} \end{matrix}$$

Bu erda Je - oqim zichligi. Qattiq tahlil oxir-oqibatda o'z operatsiyalarida ozchilik tashuvchilar tomonidan qondirilishi kerak bo'lgan quyidagi uzluksizlik tenglamalariga olib keladi.

Machine Translated by Google

(i) elektronlar ozchilik tashuvchisi bo'lgan p-tipli yarimo'tkazgichda,

$$\frac{dge}{dt} = \frac{geo\ ge}{se} + \frac{1}{e}\frac{dJe}{dx} \qquad (4{:}28a)$$

(ii) teshiklari ozchilik tashuvchisi bo'lgan n-tipli yarimo'tkazgichlarda,

$$\frac{dgh}{dt} = \frac{gho\ gh}{sh} \quad \frac{1}{e}\frac{dJh}{dx} \qquad (4{:}28b)$$

Bu yerda Je va Jh tenglamalar bilan berilgan joriy zichlikdir. 4.21a va 4.21b; ÿeo va ÿho - issiqlik muvozanatining zichligi, t e va th - umr ko'rish (vaqt doimiysi) mos ravishda elektronlar va teshiklar.

4.14.1 Diffuziya tenglamasi va diffuziya uzunligi

Yarimo'tkazgichdagi tok faqat diffuziya orqali o'tganda (ya'ni drift bo'ladi ahamiyatsiz), diffuziya oqimining quyidagi ifodalarini almashtirish mumkin uzluksizlik tenglamalarida oqimlar.

$$Je = eDxe \frac{\partial ge}{\partial x} \qquad (4{:}29a)$$

$$Jh = eDxh \frac{\partial gh}{\partial x} \qquad (4{:}29b)$$

Demak, quyidagi diffuziya tenglamalarini olamiz.

$$\text{Elektronlar uchun:} \quad \frac{\partial ge}{\partial t} = Dxe \frac{\partial^2 ge}{\partial x^2} \quad \frac{ge}{se} \qquad (4{:}30a)$$

$$\text{Teshiklar uchun:} \quad \frac{\partial gh}{\partial t} = Dxh \frac{\partial^2 gh}{\partial x^2} \quad \frac{gh}{sh} \qquad (4{:}30b)$$

Barqaror holatdagi tashuvchi inyeksiya. Yuqoridagi tenglamalardan echish uchun foydalanish mumkin rekombinatsiya bilan diffuziya bilan bog'liq vaqtinchalik muammolar. Biroq, bor ortiqcha tashuvchilarning barqaror taqsimlanishi bilan bog'liq ko'plab boshqa muammolar saqlanib qolgan. Ularda vaqt hosilalari nolga teng, diffuziya tenglamalari berilgan Eq. 4.30a–4.30b quyidagi shaklga o'zgartiring.

Machine Translated by Google

$$\frac{d2ge}{dx2} ¼ \frac{ge}{Dxese} ¼ \frac{ge}{L2_{hdiff}} \quad ð4:31aÞ$$

$$\frac{d2gh}{dx2} ¼ \frac{gh}{Dxhsh} ¼ \frac{gh}{L2_{hdiff}} \quad ð4:31bÞ$$

Dxhsh p atamasi teshik diffuziya Dxese p elektron diffuziya uzunligi deb ataladi va bu erda Lediff = Lhdiff = uzunligi deb nomlanadi.

4.15 Zaryadlarni tashish va diffuziya vaqtida nopoklikni taqsimlash profili

Yarimo'tkazgichda zaryadlarni tashish "diffuziya" deb ataladigan hodisa bilan bog'liq bo'lishi mumkin. Silikon chipga aralashmalarning tarqalishi IC ishlab chiqarishdagi eng muhim jarayondir. Diffuziyaning asosiy xususiyatlari quyida qisqacha muhokama qilinadi.

Diffuziya qonunlari. Diffuziya - bu qattiq jismlardagi atomlar va molekulalarning harakatini boshqaradigan oqim jarayoni. Tabiatan mikroskopik yoki makroskopik bo'lishi mumkin. Doping jarayonida diffuziya mikroskopik darajada sodir bo'ladi. Diffuziya jarayonlari ikkita qonun bilan tartibga solinadi, ya'ni (i) Fikning birinchi qonuni va (ii) Fikning ikkinchi qonuni. Ikkinchi qonun materiallarda diffuziyaning amaliy holatlarini ko'rib chiqadi. Bu turg'un bo'lmagan holat oqimini hisobga oladi. Doping jarayoni ham "Fikning ikkinchi qonuni" bilan tartibga solinadi.

Fikning ikkinchi qonunining boshqaruvchi differentsial tenglamasi tomonidan berilgan

$$\frac{@M}{@t} ¼ Dx \frac{d2M}{dx2} \quad ð4:32Þ$$

bu yerda M - x va t vaqt oralig'idagi konsentratsiya, Dx esa x yo'nalishi bo'yicha diffuziya. U m2 /s da ifodalanadi .

4.15.1 Xato funksiyasi usuli bilan hal qilish

Tenglamada ifodalangan Fikning ikkinchi qonuni. 4.32 muammolarni hal qilish uchun oddiy. Tenglamaning yechimini olamiz. 4.32 xato funktsiyasi usuli bo'yicha. Umumiy interfeys bo'ylab diffuziya uchun uning umumiy yechimi sifatida olinadi

$$M xð Þ t ¼ ; C1 C2erf \frac{x}{2} Dxt p \quad ð4:33Þ$$

Machine Translated by Google

Bu erda C1 va C2 doimiylar bo'lib, muammoning boshlang'ich va chegara shartlaridan baholanadi. Tenglamada. 4.33, "erf" xato funktsiyasini anglatadi. Bu matematikaviy funktsiya quyidagicha ta'riflanadi:

k erfð Þ¼ p 2/xp Z p 0 eð Þ dk ð4:34aÞ

Tenglamadan. 4.33 va 4.34a, p miqdori quyidagicha ifodalanganligini ko'rish mumkin

p ¼ x / 2 Dxt p ð4:34bÞ

Bu erda l - integratsiya o'zgaruvchisi. 4.14- rasmda e orasidagi chizma ko'rsatilgan l = 0 dan k2 ð Þ va l. p gacha bo'lgan egri chiziq ostidagi chizilgan maydon 'erf' qiymatini beradi. p=2 p.

Eq. 4.34a. l = 0 dan l = ± ÿ gacha bo'lgan egri chiziq ostidagi maydon ± bo'lib chiqadi, xato funktsiyasining quyidagi qiymatlarini yodda tutish kerak.

erfð0Þ ¼ 0; erfð1Þ ¼ 1

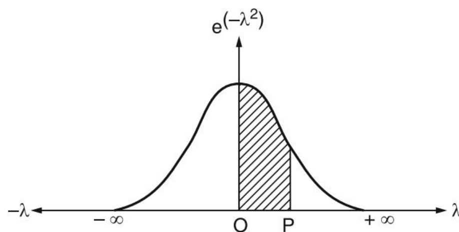
erfðþ1Þ ¼ þ1; erfðpÞ¼erfðpÞ

p miqdorining xato funksiyasi keltirilganidek Xatolar funksiyasi jadvalida ko'rish mumkin Ref. [2].

4.15.2 Qo'shimcha xato funksiyasi va Gauss Tarqatish

Yarimo'tkazgichlarni doping paytida diffuziya muammolari ikki xil bo'ladi. Bular Quyida I va II holat sifatida muhokama qilinadi.

I holat: Birlik hajmdagi doimiy sirt konsentratsiyasi. Dopantlar - bu tashqi moddalar hosil qilish uchun kremniy va germaniyda ataylab tarqalgan aralashmalar (aralash) yarim o'tkazgichlar. Biz ichki kremniy gofret misolini ko'rib chiqamiz



4.14-rasm Xato funksiyasining egri chizig'i chizilgan maydon integral qiymatiga teng ekanligini ko'rsatadi. Eq. 4.34a

Machine Translated by Google

(chip) n-tipli dopant bo'lgan fosforning gazsimon muhitiga ta'sir qiladi, hajm birligiga M0 atomlarining yagona konsentratsiyasiga ega , 4.15a-rasm. ruxsat bering diffuziya juda uzoq vaqt davom etadi, shunda kremniy bir xilda dopinglanadi hajmi birligiga M0 fosfor atomlari bilan . Sirt konsentratsiyasi bor deb taxmin qilinadi

Mð Þ¼ x 0 da t ¼ 0 da x [0 ð4:35aÞ

va

Mð Þ¼ x; t ning barcha qiymatlari uchun t M0 ð4:35bÞ

Yuqoridagi chegara shartlarini tenglamada almashtirish. 4.33 hosil beradi

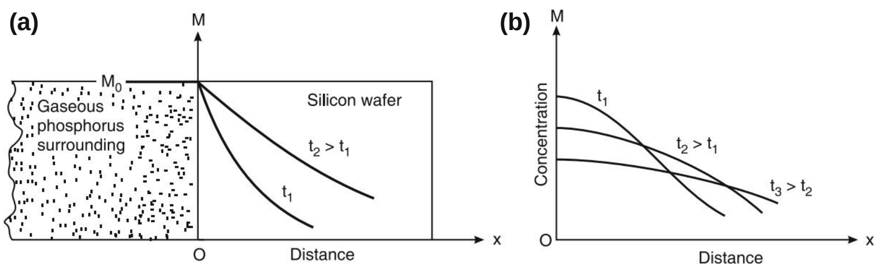
$$M(x; tÞ ¼ M0\ 1\ erf \frac{x}{2\ Dxt\ p}$$
$$¼\ M0erfc \frac{x}{2\ Dxt\ p} \quad ð4:36Þ$$

Bu erda "erfc" qo'shimcha xato funktsiyasini anglatadi va erfc(p) = 1 – erf(p).

II holat: maydon birligida doimiy sirt konsentratsiyasi. Masofa va vaqt funksiyasi sifatida diffuzion konsentratsiyani Gauss taqsimoti orqali olish mumkin A birlik maydoniga to'g'ri keladigan M0 atomlarning umumiy soni x = 0 yuzasida doimiy bo'lganda kremniy gofretidan. Fosfor atomlarining kremniyga diffuziyasi o'rtasida sodir bo'ladi material qizdirilganda x = 0 va x = ÿ tugaydi. Quyidagi chegara shartlari hisobga olinadi.

x[0 uchun t ¼ 0 da MðxÞ ¼ 0 ð4:37aÞ

va



4.15-rasm. Ikki xil diffuziya uchun kremniy gofretdagi x masofaning funksiyasi sifatida M konsentratsiyasi yuza kontsentratsiyasi o'zgarmas bo'lganda a hajmi birlik uchun M0 va birlik maydon uchun b M0

Machine Translated by Google

$$\int_0^{\infty} M(x,t)\,dx = \frac{M_0}{A} \qquad (4.37b)$$

Yuqoridagi chegara shartlari tenglamaga qo'llanilganda. 4.33, biz topamiz

$$M(x,t) = \frac{M_0}{A\sqrt{\pi D t}}\, e^{-\frac{x^2}{4Dt}} \qquad (4.38)$$

4.38 tenglama Gauss taqsimoti sifatida tanilgan. 4.15b -rasmda ko'rsatilgan . The Har bir egri chiziq ostidagi maydon tarqalgan fosforning umumiy miqdorini ko'rsatadi. Ikki hudud teng va har biri M0 ga teng. Bundan tashqari, sirt kontsentratsiyasini ko'rsatadi vaqt oshgani sayin kamayadi.

4.4-misol 1350 °C da kremniydagi diffuziya tezligining 1100 °C ga nisbati doping jarayonida 8 deb topildi. Gaz konstantasi 8,314 J/mol/K olib, hisoblang kumush diffuziyasining faollashuv energiyasi.

Yechim. Diffuziya tezligining nisbati quyidagicha ifodalanadi

$$\frac{\frac{dM}{dt}\ \text{at}\ 1350\ \text{C}\ (1623\ \text{K})}{\frac{dM}{dt}\ \text{at}\ 1100\ \text{C}\ (1373\ \text{K})} = 8 \qquad (i)$$

Fikning birinchi qonunidan biz bilamizki, doimiy konsentratsiya gradientida tezlik diffuziyaning tarqalishi diffuziyaga to'g'ridan-to'g'ri proportsionaldir. Demak, tenglama. (i) kabi yozilishi mumkin

$$\frac{D_x\ 1623\ \text{K da}}{D_x\ 1373\ \text{K da}} = 8 \qquad (ii)$$

Endi biz $D_x = D_0 e^{(-Q/RT)}$ dan foydalanamiz . beradi

$$D_x(\text{at}\ 1623\ \text{K}) = D_0 \cdot e^{-Q/13496} \qquad (iii)$$

$$D_x(\text{at}\ 1373\ \text{K}) = D_0 \cdot e^{-Q/11415} \qquad (iv)$$

bu erda mos ravishda RT = 13495 va 11415.

Tenglamani bo'lishda. (iii) (iv) orqali bizda bor

$$\frac{D_x(\text{at}\,1623\ \text{K})}{D_x(\text{at}\,1373\ \text{K})} = e^{\left(-\frac{Q}{13495}+\frac{Q}{11415}\right)} \qquad (v)$$

Tenglamadan foydalanish. (ii), tenglama. (v) sifatida qayta yozilishi mumkin

$$8 = e^{1.35105Q}$$

Machine Translated by Google

Jurnalni ikkala tomonning e bazasiga olib, biz olamiz

2:08 ¼ 1:35 105 logee ¼ 1:35 105 Q 1

2:08 kJ

) Q ¼ ¼ 154 1:35 105 mol

4.16 Uzun diod va qisqa diod

Uzoq diodlar diffuziya uzunligi nisbatan kichik bo'lgan qurilmalardir p va n hududlarning uzunliklariga. Ammo qisqa diodlarda diffuziya uzunligi uzun bo'ladi p va n hududlarning uzunliklari bilan solishtirganda. Ularning orasidagi taqqoslash quyida umumlashtirilgan.

Tavsif • ga	Uzoq diod	Qisqa diod
nisbatan diffuziya uzunliklari p va n hududlarning uzunligi	Kichik	Uzoq
• AOK qilinganlarning chirish tabiati har ikki tomonida ozchilik tashuvchilar tükenme hududi	Eksponensial ravishda ularning muvozanat qiymatlari	Deyarli chiziqli nolga teng qiymat
• Om kontaktining holati	dan uzoqda muvozanat qiymati sifatida 4.16a- rasmda ko'rsatilgan	Nol muvozanatda ko'rsatilgandek qiymat 4.16b -rasm

4.16-rasm a Uzun diod b Qisqa diod

Machine Translated by Google

4.16.1 Voltaj o'zgaruvchan sig'im

Birlashma sig'imi Cjunc kuchlanish o'zgaruvchan sig'im deb ataladi. Bu deb berilgan kuchlanish bilan o'zgargani uchun shunday nomlangan

$$C_{junc} / \frac{1}{V0\ V\ p} \qquad ð4:39Þ$$

Uning ba'zi muhim ilovalari quyida keltirilgan.

- sozlangan sxemalarda
- varaktor sifatida

4.16.2 Dielektrik konstantaning kenglikka ta'siri O'tish hududi va kuchlanish sig'imi

Dielektrik o'tkazuvchanlikning o'tish hududining kengligi va kuchlanish sig'imiga ta'siri tenglamada berilgan. 4.40. Bular shundan dalolat beradi

$$w / \ er\ p \text{ va } C_{junc} / er\ p \qquad ð4:40Þ$$

Har xil yarimo'tkazgichlar uchun er qiymatlari taxminan 9-30 gacha o'zgarib turadi. Bu ro'yxatda e'tibor tayyor ma'lumotnoma uchun quyida berilgan.

Yarimo'tkazgich	Dielektrik doimiysi er	Yarimo'tkazgich	Dielektrik doimiysi er
PbTe	30	GaP	11.1
PbSe	23.6	AlSb	11
InSb	17.7	AlAs	10.9
PbS	17	ZnTe	10.4
Ge	16	SiC(a)	10.2
GaSb	15.7	CdSe	10.2
InAs	14.6	CdTc	10.2
GaAs	13.2	AlP	9.8
InP	12.4	ZnSe	9.2
GaN	12.2	ZnS	8.9
Si	11.8		

Machine Translated by Google

4.17 Yechilgan misollar

4.5-misol Ge kristalidagi energiya diapazoni 0,75 eV ga teng. Ge yorug'likni yuta boshlagan to'lqin uzunligini aniqlang.

Yechim. Berilgan , masalan, = 0,75 eV = 0,75 × 1,6 × 10ÿ19 J

$$* \text{ Masalan} , ¼ hf ¼ \frac{hc}{k}$$

$$) k ¼ \frac{hc}{\text{Masalan}}$$

$$¼ \frac{6:62\ 1034\ 3\ 108\ ð\ Þ\ ð\ Þ}{0:75\ 1:6\ 1019} ¼ 16560\ Aÿ$$

4.6-misol Kvant samaradorligi nima?

Yechim. Kvant samaradorligi "hosil qilingan elektronlar" ga nisbati sifatida aniqlanadi "material tomonidan so'rilgan hodisa fotonlari". Bu kabi ifodalangan

$$\text{gquantum} ¼ \frac{\text{soniyada hosil bo'lgan elektronlar soni}}{\text{soniyada tushgan fotonlar soni}} ¼ \frac{\text{ggen}}{\text{jink}}$$

Kvant samaradorligi asosan yutilish koeffitsientiga bog'liq. U har doim <1 chunki barcha tushgan fotonlar elektron-teshik juftlarini yaratmaydi.

4.7-misol 1,35 eV tarmoqli energiyaga ega bo'lgan InP uchun kesish to'lqin uzunligini toping. Tegishli qiymatlarni oling. Indiy fosfidi uchun energiya diapazoni 1,35 ga teng.

Yechim. Berilgan: Masalan, = 1,35 eV = 1,35 × 1,6 × 10ÿ19 eV

$$) k ¼ \frac{hc}{\text{Masalan}} ¼ \frac{6:63\ 1034\ 3\ 108\ ð\ Þ\ ð\ Þ}{0:35\ 1:6\ 1019} ¼ 0:902\ lm$$

4.8-misol To'lqin uzunligi 0,85 mkm bo'lgan 3 × 1012 fotonlar to'lqinga tushganda. fotodiodning terminallarida o'rtacha 1,2 × 1012 elektron to'planadi. qurilma. (a) kvant samaradorligini va (b) 0,85 mkm da javob berish qobiliyatini toping.

Yechim. Berilgan: l = 0,85 mkm = 0,85 × 10ÿ6 m. Biz tegishli qiymatlarni olamiz elektron zaryadning e, Plank doimiysi h va yorug'lik tezligi c.

(a)

$$\text{Kvant samaradorligi sifatida} ¼ \frac{\text{yo'q: to'plangan elektronlar}}{\text{no: hodisa fotonlarining}}$$

$$) \text{gkvant} ¼ \frac{1:2\ 1012}{3\ 1012} ¼ 0:4 \text{ yoki } 40\%$$

(b) Javobgarlik dan aniqlanadi

Machine Translated by Google

$$R ¼ \frac{gquantumek}{hc}$$

$$¼ \frac{ÿ Þ 0:4 ÿ 1:6 1019 Þ \quad 0:85 106 3}{6:63 1031 ÿ Þ \quad 108 ð Þ} ¼ 0:272 As1$$

4.9-misol Fotolyuminessensiyaga qisqacha tushuntirish bilan misol keltiring.

Yechim. "Lyuminestsent chiroq" fotoluminesansning keng tarqalgan namunasidir. Bu gaz bilan to'ldirilgan shisha naychadan iborat bo'lib, u odatda aralashmasidir simob bug'lari va argon. Naychaning ichki qismida lyuminestsent qoplama mavjud. Qachon trubaning elektrodlari, gaz atomlari o'rtasida elektr razryad hosil bo'ladi hayajonlanadi va fotonlarni chiqaradi. Bu emissiya asosan ko'rinadigan va U/Vda bo'ladi spektrning hududlari. Shu tarzda ishlab chiqarilgan yorug'lik lyuminestsent tomonidan so'riladi qoplama va shuning uchun ko'rinadigan fotonlar chiqariladi.

4.10-misol Rangli televizor ishlab chiqarishda fosforning qanday foydasi bor? ekran?

Yechim. Fosfor chiqaradigan yorug'likning rangi asosan quyidagilarga bog'liq unda mavjud bo'lgan aralashmalar. Buning sababi shundaki, ko'plab radiatsiyaviy o'tishlar nopoklikni o'z ichiga oladi ZnS kabi ba'zi materiallarning tarmoqli oralig'idagi darajalari. Demak, tanlash Tegishli fosforlar rangli televizor ekranini ishlab chiqarishda foydalidir.

Misol 4.11 Fotodiod energiya fotonlari bo'lsa, kvant samaradorligi 60% ni tashkil qiladi Unda 1,5 × 10ÿ19 hodisa mavjud. (a) fotodiod ishlaydigan to'lqin uzunligini aniqlang. Shuningdek, (b) a olish uchun zarur bo'lgan tushuvchi optik quvvatni toping Ushbu fotodiod uchun 3 mkA foton oqimi.

Yechish: (a) $* k ¼ \frac{hc}{E}$

$$) k ¼ ¼ \frac{ÿ 6:626 1034 Þ ÿ 3 108 Þ}{1:5 1019 ÿ} 1:32 lm$$

(b) $* R ¼ hf \frac{gkvant}{} ¼ \frac{0:6 \quad 1:6 1019 Þ}{1:5 1019} ¼ 0:64 AW1$

va shuningdek, $R ¼ \frac{IP}{P0}$

$$) P0 ¼ \frac{IP}{R} ¼ \frac{3 106}{0:64} ¼ 4:67 lVt$$

4.12-misol chiqarilgan fotoelektronlarning maksimal energiyasini toping 1,5 × 109 MGts chastotali yorug'lik chegarasi bo'lgan material yuzasiga tushadi. chastotasi 1,2 × 109 MGts.

Machine Translated by Google

Yechish: E ¼ hf sifatida

) Emax ¼ h fð Þ f0 J

¼ 6:62 1034 ¼ 6:62 1:5 1015 1:2 1015

1034ð 6:62 1034 1:5 1:2 Þ 1015 J

¼ 0:3 1015 / 1:602 1019 eV

¼ 1:24 eV

4.13-misol Tug'ish markazi deganda nima tushuniladi?

Yechim. Yarimo'tkazgichdagi nopoklik yoki nuqson markazi deb ataladi ushlash markazi (yoki tuzoq).

4.14-misol Fosforessensiya nima?

Yechim. Bu materialning kechiktirilgan luminesans hodisasidir optik energiyani yutishda biroz kechikish (1 s yoki undan ortiq) keyin ko'rinadigan yorug'lik chiqaradi.

4.15-misol Panjara yutish qirrasi nima?

Yechim. Sof yarim o'tkazgichlarda yutilish koeffitsienti a ga tez tushadi to'lqin uzunligi oraliq infraqizil mintaqaga yaqin yoki yaqin bo'ladi va material bo'ladi katta to'lqin uzunliklarida shaffof. Bu yutilish koeffitsientining sezilarli pasayishi panjara yutilish qirrasi yoki faqat "yutilish qirrasi" deb ataladi. uchun assimilyatsiya qirralarning ba'zi yarim o'tkazgichlar quyidagicha berilgan.

- InSi, l = 1,1 mkm da
- InGe, l = 1,65 mkm da

4.16-misol Diffuziyaning turli qonunlari qanday? Ularning ahamiyati nimada elektron materiallar va qurilmalar?

Yechim. Diffuziyaning klassik qonunlarini Fik targ'ib qilgan. Shuning uchun ular Fik qonunlari sifatida tanilgan. Ikkita qonun mavjud, ya'ni. Fikning 1-qonuni va Fikning 2-qonuni.

Fikning 1-qonuni barqaror holatdagi elektronlar va teshiklar va hokazolar oqimini tavsiflaydi sharoitlar, 2-qonun esa barqaror bo'lmagan holat oqimini bildiradi.

Bu qonunlar elektron materiallar va qurilmalar uchun katta ahamiyatga ega, chunki elektronlar va teshiklar orqali yarim o'tkazuvchanlik mexanizmi va doping jarayoni boshqalar ular tomonidan boshqariladi.

4.17-misol Diffuziya tenglamasining ahamiyati nimada?

Yechim. Diffuziya tenglamalari o'z ichiga olgan vaqtinchalik muammolarni hal qilishda foydalidir rekombinatsiya bilan diffuziya. Bunday muammoga misol bo'lishi mumkin. "Bir puls Yarimo'tkazgichdagi elektronlarning diffuziya yo'li bilan tarqalishi va yo'qolishi rekombinatsiya."

Machine Translated by Google

4.18-misol Xeyns-Sokli tajribasi nima? Uning ahamiyati nimada?

Yechim. Haynes-Shokli tajribasi drift va diffuziyani ko'rsatadi yarimo'tkazgichlardagi ozchilik tashuvchilari. Ushbu tajriba yordamida, ozchilik tashuvchilarning harakatchanligi μ va diffuziya D o'lchovi bo'lishi mumkin bajarilgan.

4.19-misol Fotonlarning xarakterli xususiyatlari qanday?

Yechim. Fotonlar har qanday nurlanishning asosiy tarkibiy qismidir. Ular egalik qiladi quyidagi xarakterli xususiyatlar.

(i) energiya tarkibi
(ii) massa
(iii) Momentum

Fotonning energiyasi intensivlikka bog'liq emas va elektr bo'lmagan tabiatga ega. Har xil xususiyatlar quyidagicha ifodalanadi.

$$E = nhf \qquad \text{(i)}$$

bu erda $n = 1; 2; 3; \ldots$ asosiy kvant soni:

$$E = mc^2 \text{ bu erda } c \text{ - yorug'lik tezligi: } n = 1 \qquad \text{(ii)}$$

uchun; $E = hf = mc^2$

$$\Rightarrow f = \frac{c}{k}; \text{ Bu erda } k \text{ - fotonning to'lqin uzunligi} \qquad \text{(iii)}$$

Fotonning kinetik massasi bilan berilgan

$$m_{pfoton} = \frac{h}{kk} \qquad \text{(iv)}$$

va foton impulsi bilan berilgan

$$p = mc = \frac{hf}{c} = \frac{h}{k} \qquad \text{(v)}$$

4.20-misol Fotoo'tkazgichning qorong'i qarshiligi deganda nima tushuniladi?

Yechim. Bu yorug'lik bo'lmaganda foto o'tkazuvchan hujayraning qarshiligi. Qorong'i qarshilik har doim yorqin qarshilikdan yuqori bo'ladi (ya'ni hujayra yoritilganda).

4.21-misol Diffuzivlik nima? Yarimo'tkazgichda uning qo'llanilishi qanday materiallar? Diffuziyaga harorat qanday ta'sir qiladi?

Machine Translated by Google

Yechim. Diffuziya - bu qattiq jismlardagi atomlar va molekulalarning harakatini boshqaradigan oqim jarayoni. Dopantlar (masalan, P, As, Ga va boshqalar) bilan ichki yarim o'tkazgichni (Si, Ge kabi sof elementlar) doping diffuziya jarayoni bilan amalga oshiriladi. Haroratning ta'siri materiallarning diffuziya tezligini oshirishdir.

4.22-misol Tashuvchining ishlash muddatini qanday aniqlash mumkin?

Yechim. Tashuvchining ishlash muddatini quyidagi usullar bilan aniqlash mumkin.

1. Saqlash kechikish vaqtini tsd, eksperimental tarzda o'lchash orqali; va keyin hisoblash uchun Tenglamadan olingan umr bo'yi tp . 6.8 (6-bobga qarang).
2. Fotoo'tkazuvchanlik parchalanishini o'lchash orqali.

4.23-misol Kvazi-statsionar holat nima? Vaqtinchalik muammolarni tahlil qilishda uning ahamiyati nimada?

Yechim. Bu barqaror va beqaror holatlar o'rtasidagi vositachi shart. Turli o'tkinchi masalalarning kvazistasion holat yechimlari yalpi yaqinlashuvlarga asoslanadi va qo'pol natijalar beradi. Biroq, muammoga kvazistasion holat yondashuvi nisbatan soddaroq yechimni ta'minlaydi. Tahlil qilish uchun sarflanadigan vaqt ham kamroq.

Misol 4.24 Kvazi-statsionar holat yondashuvidan foydalangan holda ulanish kuchlanishining ifodasini oling.

Yechim. Vjunc ulanish kuchlanishining ifodasini , saqlangan zaryadning parchalanishi paytida har bir lahzada p uchun eksponensial taqsimotni qabul qilish orqali olish mumkin. Kvazi-statsionar holat diffuziya ta'sirini hisobga olmaydi, shuningdek, vaqtinchalik sharoitlarda xn = 0 da nishab tufayli buzilishni e'tiborsiz qoldiradi.

Shuning uchun, agar biz olsak

dp xð Þ¼Dpnt e $\frac{xn}{Lp}$ ð4:41Þ

har qanday lahzada saqlangan to'lovning qiymati bo'ladi

QPðÞ¼ t eA 1Z 0 Dpne $\frac{xn}{Lp}$ dxn ¼ eALPDpn ð4:42Þ

) Dpn ¼ eALP $\frac{Qpð Þt}{}$ ð4:43Þ

Endi tenglama bilan bog'liq. 4.43 tenglama bilan. 6.7, olamiz

$\frac{eV}{KT}$ 1 ¼ pn: e $\frac{Qpð}{Þt}$

) Vjunc ¼ $\frac{eALP}{e}$ kT ln $\frac{Isp}{eALPpn}$ e $\frac{t}{tp}$ ð1 sP ð4:44Þ

Machine Translated by Google

Tekshirish savollari

1. Quyidagilarni aniqlang.
   (a) Foton (b) Optik yutilish (c) Luminesans
   (d) Fotoo'tkazuvchanlik (e) Diffuziya (f) Drift
2. Optik yutilish deganda nimani tushunasiz? Fotonni yutish shartlarini ayting va uning mexanizmini muhokama qiling.
3. Yutish koeffitsienti nima? Yarimo'tkazgich namunasi orqali o'tadigan yorug'lik intensivligini aniqlash uchun tenglamani tuzing.
4. Yarim o'tkazgichning yutilish koeffitsientiga ta'sir qiluvchi omillarni muhokama qiling. Yorug'lik spektrining turli mintaqalarida joylashgan yarim o'tkazgichlarni ro'yxatga oling.
5. Luminesans hodisasini tushuntiring. Uning qanday turlari bor? Qanaqasiga floresans fosforessensiyadan farq qiladimi?
6. Fotolyuminessensiya nima? Uning qanday turlari bor? Mexanizmni tushuntiring unga nisbatan qo'zg'alish va rekombinatsiya nizmi?
7. Tashuvchining ishlash muddati deganda nima tushuniladi? To'g'ridan-to'g'ri rekombinatsiyaning umri qanday farq qiladi? bilvosita rekombinatsiyaning umri davomida?
8. To'g'ridan-to'g'ri rekombinatsiya mexanizmida tashuvchining ishlash muddati uchun ifoda hosil qiling· Unda qilingan taxminlar va soddalashtirishlarni yozing.
9. Fotoo'tkazuvchanlik nima? Yarimo'tkazgichli qurilmalarda uning qo'llanilishi qanday? Turli xil fotoo'tkazuvchan materiallarni ularning mutaxassisliklari bilan sanab o'ting.
10. Muayyan dastur uchun mos foto o'tkazuvchi materialni tanlashni boshqaradigan omillarni muhokama qiling.
11. Yarimo'tkazgichli qurilmalarda foydalanish uchun fotoo'tkazuvchan materiallarni tanlashga quyidagi omillar qanday ta'sir qiladi: (a) to'lqin uzunligi diapazoni, (b) vaqt ta'siri va (c) optik sezgirlik
12. Fotoo'tkazuvchan hujayraning tuzilishi va ishlashini eskizini chizing va tushuntiring. Okeanda suv osti kemasini aniqlash qanday ishlaydi?
13. Yong'in signalizatsiyasining ishlashini uning uchun mo'ljallangan, fotoo'tkazuvchan elementni ishlatadigan sxema yordamida tushuntiring.
14. Elektron va teshik diffuziya tezligini qanday aniqlaysiz. Shu munosabat bilan iboralar ishlab chiqing va yozing.
15. Ikki o'xshash bo'lmagan yarimo'tkazgichlar hosil qilgan tutashuvdan o'tadigan tok diffuziya va drift oqimlarining yig'indisiga teng. Bu ikki xil effekt qanday va nima uchun rivojlanishini tushuntiring?

Machine Translated by Google

16. Eynshteyn munosabati nima? O'zaro munosabatlarni o'rnatish uchun iboralar ishlab chiqing diffuziya koeffitsienti va tashuvchilarning harakatchanligi.

17. Uzluksizlik tenglamalarini muhokama qiling va chiqaring. Ulanish va tranzistorlarni to'g'rilash uchun ularning ahamiyati qanday?

18. Yarimo'tkazgichlarda diffuziya paytida zaryadlarni tashish va aralashmalarning tarqalish profilini induktsiya qilish uchun boshqaruvchi differentsial tenglamani muhokama qiling. Bunday muammolarni hal qilish uchun "xato funktsiyasi usuli" qanday ishlatiladi?

19. To'ldiruvchi xato funksiyasi va Gauss taqsimotiga nisbatan tushuntiring Fikning diffuziya muammolarini hal qilish.

20. Uzoq va qisqa diodlarni farqlang

21. Quyidagilarni farqlang.
(a) Katod-luminesans va Chemed-lyuminessensiya
(b) To'g'ridan-to'g'ri rekombinatsiya va bilvosita rekombinatsiya
(c) Tashuvchilarning diffuziyasi va tarqalishi

22. Quyidagilarga izohlar yozing.
(a) Elektro-luminesans (c) Di fuziya uzunligi
(b) tashuvchilarning parchalanishi
(d) fotoko'paytiruvchi trubka
(e) Kvazi-Fermi darajasi

Raqamli muammolar

1. To'lqin uzunligi 3000 Å (a) joul va (b) elektron-volt bo'lgan ultrabinafsha nurli fotonlarning energiya tarkibini hisoblang.
[Javob : (a) 6,62 × 10-19 J (b) 4,13 eV]

2. To'lqin uzunligi 210 mm. **[Javob :** 5,9 × 10-6 eV] bo'lgan spektral emissiya chizig'i fotonlarining energiyasini aniqlang.

3. Quyidagi (a) 1 m, (b) 1 mm, (c) 5000 Å va 1 Å to'lqin uzunliklarining har birida elektromagnit nurlanish kvantiga bog'liq bo'lgan energiya chastotasi va miqdorini toping.

[Javob : (a) 3 × 108 Gts, 1,25 × 10-6 eV (b) 3 × 1011 Gts, 1,25 × 10-3 eV, 6 × 1014 Gts, 1,25 eV (d) 3 × 1018 Gts, 1,25 × 104 eV]

4. Qalinligi 0,46 mkm bo'lgan aralash yarimo'tkazgich namunasi foton energiyasi = 2 eV bo'lgan monoxromatik yorug'lik bilan yoritilgan. Namunadagi quvvat hodisasi 10 mVt. Agar yutilish koeffitsienti 5 × 104 sm-1 bo'lsa, (a) bir soniyada bir xil so'rilgan umumiy energiyani, (b) rekombinatsiyadan oldin elektronlar tomonidan panjaraga berilgan ortiqcha issiqlik energiyasining tezligini va (c) rekombinatsiyadan sekundiga chiqadigan fotonlar sonini hisoblang. Kvant samaradorligi mukammaldir. **[Javob :** (a) 9 mVt (b) 2,57 × 10-3 J/s (c) 2,81 × 1016 foton/s]

Machine Translated by Google

5. GaP lazeridan keladigan yorug'likning to'lqin uzunligi 5490Å. Energiya bo'shlig'ini hisoblang undan.

[Javob : 2,26 eV]

6. 300 K da Si monokristalidagi teshiklar va elektron harakatchanliklari 0,025 m2/Vs va 0,17 m2/Vs. Bu haroratda teshiklar va elektronlarning diffuziya koeffitsientini aniqlang.

[Javob : Dh = 0,00091 m2/s, De = 0,0044 m2/s]

Ob'ektiv savollar

1. Quyidagi gaplarni ko'rib chiqing.

A. Ortiqcha zaryad tashuvchilarni elektron bombardimon qilish orqali ham yaratish mumkin optik qo'zg'alish.

B. CdS yorug'lik spektrining infraqizil hududida joylashgan.

C. Elektron-teshik juftligi rekombinatsiyasining o'rtacha ishlash muddati 10-8 s.

D. Drift tok elektr maydoni tufayli oqadi.

Ulardan to'g'ri javoblar

(a) A va C (b) B va D

(c) A, B va C (d) A, C va D

2. Quyidagilardan qaysi biri noto‘g‘ri?

(a) Fotoo'tkazuvchanlik qo'llanilishi avtomatik eshik ochuvchisida mavjud.

(b) Ag bilan qoplangan ZnS fosforessensiya materialiga misoldir.

(c) CdSe yorug'lik spektrining qizil ko'rinishida yotadi.

(d) Fotonning energiyasi kamroq bo'lsa, fotonlar yarim o'tkazgich tomonidan so'riladi yarimo'tkazgichning tarmoqli bo'shliq energiyasidan.

3. I ro‘yxatni II ro‘yxat bilan moslang va berilgan kodlardan foydalanib to‘g‘ri javobni tanlang ro'yxatlar ostida.

Ro'yxat	Ro'yxat II
I A. Diffuziya	1. O‘tkazuvchanlik bandi
B. Drift	2. Valentlik bandi
C. Erkin elektronlar	3. Fik qonuni
D. Teshiklar	4. Elektr maydoni

Kodlar:

CD (a) B3 4 BCD

2 (b) 4 2 1

1 (c) 3 4 12 3 (d) 4 3 1 2

Machine Translated by Google

4. Quyidagi juftliklardan qaysi biri to‘g‘ri mos emas?
   A. Diffuziya oqimi tashuvchi kontsentratsiyasining gradienti tufayli oqadi
   B. Eynshteyn munosabati Dxh = (KT/e). μh
   C. Rektifikatsiya qiluvchi birikmalarda ozchilik tashuvchilarning uzluksizlik tenglamasi harakati
   D.Fikning 2-qonuni stabil holat holati

5. Ro'yxat 1 Ro'yxat 2

(Yarim o'tkazgich parametrlari) (Jismoniy jarayon)

A. Nopoklik konsentratsiyasi 1. Rekombinatsiya

B. Tashuvchining 2. Banddan bandga o‘tish

harakatchanligi C. 3. Tarqalish

Tashuvchining ishlash muddati D. Ichki tashuvchi 4. Ion implantatsiyasi

Kod:

AB C 34 2 43 2 34 1 D
1
1
2
43 1 2

Javoblar

1. (d) 2. (d) 3. (a) 4. (d) 5. (c)

Ma'lumotnomalar

1. Gupta, KM, Gupta, N.: Ilg'or elektr va elektronika materiallari. Skrivener Wiley Publishing, AQSH (2015). (Ushbu bobning ba'zi masalalari bundan ko'chirildi kitob)
2. Gupta, KM: Muhandislik materiallarini tadqiq qilish, ilovalar va yutuqlar. CRC Press, Teylor va Frensis guruhi, AQSh (2014)